Ольгин О. Опыты без взрывов.
Рецензент: д-р хим. наук М. Г. Гольдфельд
УДК 541
Изд. второе, переработанное. — М.: Химия, 1986.—192 с.

Увлечение химией начинается обычно с опытов. Есть множество полезных, поучительных и просто красивых экспериментов, которые вполне но плечу и юным химикам. Именно такие опыты вы найдете в этой книге. Большинство из них было описано ранее в журнале «Химия и жизнь», в разделе «Клуб Юный химик».

Опыты подобраны так, чтобы заинтересовать юных читателей, показать им привлекательность химической пауки и в то же время привить навыки самостоятельной работы. Название книги выбрано не случайно: все предлагаемые опыты, если ставить их по описанию, безопасны. В этом, втором издании (первое вышло в 1978 г.) учтены советы и пожелания читателей: некоторые главы уточнены и расширены, добавлено несколько новых глав, трудно воспроизводимые опыты упрошены или вовсе исключены.

Книга рассчитана в основном на школьников, однако она может принести пользу и педагогам, особенно в проведении внеклассной работы.

© Издательство «Химия», 1986 г.

ПРЕДИСЛОВИЕ

В этой книге вы найдете много химических опытов на разные вкусы и различной сложности, от самых простых, для новичков, до весьма хитроумных, в расчете на умелого юного химика, который под руководством преподавателя занимается в химическом кружке. Пусть вас не смущает ни сложность одних, ни простота других опытов: ведь чем шире выбор, тем легче найти опыты себе по силам и по склонностям. Совсем не обязательно читать эту книгу от корки до корки, из нее можно выбрать только то, что вас интересует.

Любые химические опыты, в том числе и приведенные здесь, лучше ставить в химическом кружке. Конечно, если быть аккуратным и точным, то и домашние опыты не дадут повода для волнений. Однако в кружке вам помогут разобраться в сути происходящих реакций, объяснят, как лучше и проще поставить эксперимент, предоставят оборудование и реактивы.

К сожалению, не у всех есть возможность заниматься в кружках. Что ж, и это не должно служить препятствием. Многие опыты можно поставить и в скромной самодельной лаборатории на дому. О том, как ее устроить, будет рассказано сразу же после предисловия. Мы очень просим внимательно прочесть этот раздел, особенно его начало, всех без исключения наших читателей, даже тех, кто уже имеет некоторые навыки в этом деле. И не только потому, что вы, вполне вероятно, найдете там что-нибудь новое и полезное для себя, а еще и по той причине, что никогда не помешает лишний раз вспомнить о том, как сделать опыты безопасными и доступными. Если же вы приступаете к опытам впервые, то постарайтесь как можно внимательнее прислушиваться ко всем нашим советам.

Увлечение химией начинается обычно с опытов, и не случайно едва ли не все знаменитые химики с детства любили экспериментировать с веществом. Но некоторые начинающие химики почему-то полагают, будто настоящие опыты — это гром и сверкание, клубы дыма и едкие запахи. Вовсе нет, уверяем вас. Есть множество очень интересных опытов, не таящих в себе никакой угрозы, но от того не менее поучительных и красивых. Если ваши родители обеспокоены предстоящими химическими занятиями, то дайте им прочисть следующую фразу, которую мы специально начнем с красной строки.

Если ставить опыты, помещенные в этой книге, именно так, как мы советуем, то взрывов никогда не будет.

Но — еще и еще раз — предпочтительнее заниматься химией не дома, а в кружке. Более того, некоторые опыты вообще не удается поставить дома — не столько даже из-за сложности эксперимента, сколько из-за отсутствия в домашних условиях нужных реактивов и приборов. Но если уж опыт пригоден для домашней лаборатории, мы постараемся сделать

так, чтобы можно было обойтись подручными средствами и теми веществами, которые можно купить в аптеке или в хозяйственном магазине. А некоторые опыты настолько просты, что их могут поставить юные любители химии, еще не начавшие изучать в школе эту замечательную науку.

Надеясь, что наши опыты будут ставить юные химики из разных классов и с разной подготовкой, мы не стали, как это принято в учебниках, приводить в каждом случае уравнения реакций, а ограничились только упоминанием веществ, которые получаются в, результате той или иной реакции. Это даст возможность легко читать текст и тем, для кого сложные химические уравнения остаются пока тайной за семью печатями. А старшеклассники, если их заинтересует точная химическая запись реакции, всегда смогут найти соответствующие уравнения в учебниках и пособиях. Чтобы такой поиск облегчить, мы время от времени будем писать формулы исходных или образующихся в ходе реакции веществ.

Эта книга состоит из шести разделов, В первом — предварительные советы и наставления, как устроить свою лабораторию, а в остальных — собственно опыты. Чтобы облегчить поиск экспериментов и отделить одну серию опытов от другой, каждый раздел разбит, в свою очередь, на главы. Иногда, чтобы не повторяться, мы будем отсылать вас к главе, в которой уже упоминались интересующие нас вещества, реакции и приемы работы: пользуясь оглавлением, вы без труда отыщете нужные сведения.

И последнее, о чем обязательно надо сказать в предисловии. В научно-популярном журнале «Химия и жизнь» есть раздел «Клуб Юный химик», а в нем рубрика с тем же названием, что и эта книга. Как нетрудно догадаться, в книге собраны опыты преимущественно из этой рубрики.

Советуем вам, когда вы исчерпаете опыты из этой книги, заглядывать в журнал: почти в каждом номере вы найдете эксперимент, который любопытно будет поставить в домашней лаборатории или в химическом кружке.

И наконец, назовем людей, которые описали те опыты, что вы вот-вот будете ставить: Г. А. Балуева, Н. В. Бовин, Ю. И. Булавин, Ю. В. Власенко, Н. Ф. Гринева, М. А. Гуревич, В. Е. Жвирблис, В. И. Зубрицкий, Ю. А. Койдан, Н. Н. Красиков, И. А. Леенсон, Г. В. Лисичкин, Ю. Г. Орлик, Н. А. Паравян, В. А. Пчелин, В. И. Сафонов, К. И. Севастьянова, В. Ф, Скобелев, А. М. Схундии. Автор (и, будем надеяться, вы тоже) благодарит их от всей души.

Отдельно и особо автор выражает признательность всем, кто способствовал появлению на свет этого, второго издания книги, и прежде всего—докторам химических наук М. Г. Гольдфельду, П. В. Козлову, Г. В. Лисичкину, кандидату химических наук И. А. Леенсону.

1

ДОМАШНЯЯ ЛАБОРАТОРИЯ

Очень просим вас прочесть этот раздел даже в том случае, если вы собираетесь ставить опыты не дома, а в школе, на станции юных техников или, скажем, в Доме пионеров. Во-первых, может быть, пригодятся некоторые простые советы по использованию для эксперимента подручных, средств. А во-вторых, что еще важнее, мы начнем эту главу с предупреждений и напоминаний, которые обязательны для всех юных химиков, где бы они ни ставили эксперименты и какими бы многоопытными себя ни считали.

Вот семь наших обязательных условий. **Первое и главное условие:** строго и точно соблюдайте все наши рекомендации.

Вы, наверное, знаете, что одна и та же химическая реакция может идти по-разному, если изменить условия опыта. Например, если повысить температуру, или добавить в пробирку какое-либо вещество, или добавлять вещества в иной, чем указано,

последовательности. От этого мы вас и предостерегаем: нет гарантии, что реакция пойдет так, как вы предполагаете. Вот самый простой пример.

Возможно, вам известно, что при разбавления серной кислоты всегда льют медленно и понемногу кислоту в воду, осторожно перемешивая раствор. (Пожалуйста, запомните это правило раз и навсегда, и ни в коем случае не поступайте наоборот.) Но, казалось бы, какая разница, что к чему добавлять? У всех химических правил есть глубокий смысл.

В чем же причина именно такого порядка смешивания серной кислоты с водою?

При таком смешивании выделяется много тепла. Кислота гораздо тяжелее воды, и когда ее вливают понемногу в сосуд с водой, кислота сразу опускается, и граница, где выделяется тепло, оказывается глубоко под водой. Смесь нагревается постепенно и равномерно, словно на горячей плите. А если лить легкую воду в тяжелую кислоту, то вода растечется тонким слоем по поверхности, сразу же нагреется и превратится в пар — будто воду вылили на раскаленную сковородку. Пар захватит брызги кислоты, они могут попасть на одежду и на кожу, вызвать ожоги, повредить глаза. Вот такие могут быть последствия от несоблюдения простого химического правила.

И в этом случае, и во всех остальных — пожалуйста, следуйте нашим советам неукоснительно!

Второе условие: никогда не смешивайте два реактива, просто чтобы посмотреть, что получится. Не всегда получается хорошо.

Совсем другое дело, если вы точно знаете, что образуется в результате реакции и как она идет. Скажем, если вы уже проходили реакцию в школе и совершенно уверены, что опыт безопасен. Но и в этом случае берите минимально необходимые количества веществ. Не стаканы и даже не столовые ложки, а буквально граммы или даже доли грамма. Чтобы наблюдать ход реакции, этого вполне достаточно. Я даже если вам нужно получить самостоятельно заметное количество вещества, прежде поставьте прикидочный опыт, чтобы познакомиться с тонкостями реакции.

Третье условие: не используйте для опытов посуду, из которой едят. Для опытов нужна своя, отдельная посуда. И ни в коем случае не пробуйте вещества на вкус (кроме тех случаев, когда в описании опыта прямо сказано, что продукт можно попробовать).

Четвертое условие: храните реактивы в отдельных склянках или коробках. Чтобы не было путаницы, наклейте этикетки и напишите, что находится внутри. Если препарат вам больше не нужен (или если опыт закончен, а продукты реакции вам ни к чему), то немедленно выбросьте ненужные вещества — так спокойнее, и путаницы не будет.

Пятое условие: не оставляйте грязной посуды. Во-первых, ее будет потом трудно отмыть, может быть, придется даже выбрасывать. Во-вторых, некоторые вещества окисляются на воздухе, реакции между ними могут продолжаться и после того, как опыт закончен, и в результате таких реакций может получиться нечто такое, на что мы с вами не рассчитывали. Словом, после каждого опыта мойте посуду сразу и тщательно.

Между прочим, когда чисто, то и работать приятнее, и старшие лучше будут относиться к вашим занятиям. Да и вообще экспериментатор только тогда достигает успеха, когда работает аккуратно.

Шестое условие: никогда не берите реактивы руками, не наклоняйтесь над склянками, в которых идут реакции, не нюхайте вещества с едким запахом. Берегите и одежду, и кожу, и прежде всего глаза от брызг и крупинок. Это условие коротко можно сформулировать так: будьте всегда осторожны!

И наконец, самое последнее, **седьмое условие**, которое вы обязаны выполнять, если хотите стать настоящими экспериментаторами: приступайте к работе только после того, как вам будут ясны все ваши действия. Еще до начала работы внимательно прочтите описание опыта от начала до конца. Запишите все, что вам может понадобиться: посуда, реактивы, штатив, держалки и тому подобное, вплоть до тряпки. Разложите их на рабочем месте так, чтобы все было под рукой. И только после такой подготовки приступайте к работе.

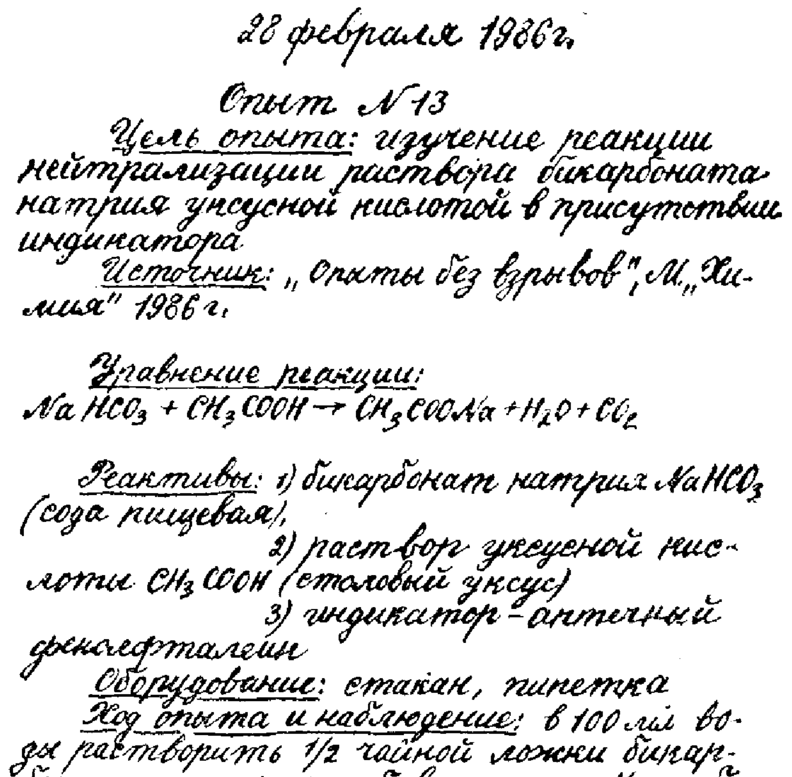
Может быть, вы даже не представляете себе, насколько важен этот последний совет.

Если вы будете ему следовать, это избавит вас от суматохи и недоразумений. Представьте себе, что вы приступили к опыту без подготовки, едва раскрыв книгу. Написано: «налейте в бутылку разбавленной уксусной кислоты и бросьте кусочек сульфита натрия, завернутого в фильтровальную бумагу». Это, положим, вы сделаете без труда, если только второпях, в поисках фильтровальной бумаги, не опрокинете бутылку с уксусом. Началась реакция, стал выделяться газ. А вы тем временем читаете: «закройте бутылку пробкой с отводной трубкой и пропустите газ через раствор перманганата калия». Пока вы будете искать пробку, подбирать к ней трубку и доставать из домашней аптечки марганцовку — можете быть уверены, реакция в бутылке давно закончится, и все придется начинать сначала, А что стоило прочесть заранее и приготовить все загодя...

Если вы уже неплохо знаете химию, то для точного выполнения этого же условия очень полезно будет записать уравнения реакций, протекающих в ходе опыта, выверить их по авторитетным книгам или справиться у знающих людей, скажем, у учителя химии. Тогда все ваши действия станут вам яснее и, может быть, вы сможете несколько видоизменить опыт, расширить его рамки. Но, повторяем, только при полной уверенности в том, что опыт пойдет так, как вы ожидаете,

И всем юным химикам, независимо от их подготовки и опыта, настоятельно советуем завести лабораторный журнал. Настоящий химик обязательно записывает в лабораторный журнал план работы, список реактивов, порядок действий, зарисовывает прибор и перечисляет, из каких деталей прибор состоит. Он заносит в журнал условия опыта, уравнения реакций, подсчитывает, сколько надо веществ для опыта. А потом записывает свои наблюдения и делает из них выводы.

Чтобы вам было понятнее, как надо вести лабораторный журнал, (а это, кстати, может быть обычная тетрадь), мы приводим для иллюстрации запись из такого журнала. Разумеется, это не образец, следовать ему в точности не обязательно; ведите записи так, как вам удобнее и привычнее. Но иметь перед глазами пример записи не помешает...


28 февраля 1986г.

Опыт №13

Цель опыта: изучение реакции нейтрализации раствора бикарбоната натрия уксусной кислотой в присутствии индикатора

Источник: „Опыты без взрывов", М.„Химия" 1986 г.

Уравнение реакции:

$NaHCO_3 + CH_3COOH \rightarrow CH_3COONa + H_2O + CO_2$

Реактивы: 1) бикарбонат натрия $NaHCO_3$ (сода пищевая),
2) раствор уксусной кислоты CH_3COOH (столовый уксус)
3) индикатор - аптечный фенолфталеин

Оборудование: стакан, пипетка

Ход опыта и наблюдение: в 100 мл воды растворить 1/2 чайной ложки бикарбоната натрия, добавить около 1/4 таблетки фенолфталеина измельченной в порошок...

Выводы:

Если ваши наблюдения были точными, записи — аккуратными, а выводы — правильными, значит, вы сумели не просто поставить опыт (что интересно само по себе), но еще понять его смысл и извлечь пользу (а это гораздо важнее). Пожалуйста, не ленитесь заглядывать в учебники и популярные книги по химии, экспериментатор обязан понимать сущность опыта и его особенности. Мы умышленно возлагаем эту работу на вас, в противном случае с подробными разъяснениями книга превзошла бы разумные размеры и часть опытов пришлось бы из нее убрать. А как раз этого нам и не хотелось бы

делать.

Теперь, после предварительных замечаний, к которым вы, конечно же, отнеслись со всей серьезностью, пора переходить к устройству своей, на первых порах очень скромной, лаборатории.

То, чем вам придется сейчас заниматься, не так интересно, как ставить опыты, однако необходимо. Впрочем, и оборудование собственной лаборатории, если взяться за него всерьез, тоже поучительное занятие.

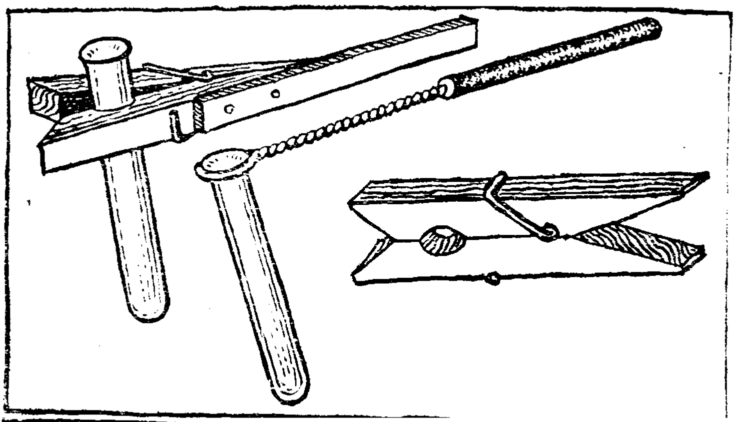
Если при слове «лаборатория» вы представили себе просторную комнату с вытяжным шкафом, стеклянными приборами, печами, насосами и высоченными шкафами, доверху набитыми посудой и реактивами,— то вы в данном случае ошиблись. Речь идет об уголке комнаты, необязательно жилой, в котором можно поставить небольшой столик и повесить над ним полку. Но прежде чем устраивать лабораторию, выполните два требования. Первое: точно решите для себя, хотите ли вы серьезно заниматься химическими опытами, хватит ли у вас терпения тщательно их ставить, не смущает ли вас подготовка к опытам и такие скучные занятия, как уборка и мытье грязной посуды. Если вы сознательно идете на все это, то остается второе требование: получить согласие старших. Будем надеяться, что ваша твердая убежденность возымеет действие.

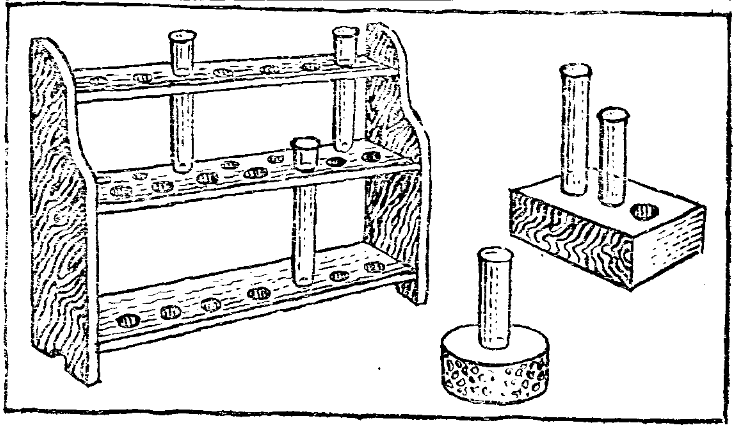
Начнем с устройства рабочего места.

Рабочий стол желательно поставить поближе к окну, чтобы освещение было хорошим; к тому же, если работать возле окна, то легче проветривать помещение. Если у окна места нет, позаботьтесь об электрическом освещении. В любом случае имейте в виду, что нельзя ставить опыты в полутемном помещении!

Как бы аккуратно вы ни работали, на стол могут попасть брызги растворов, просыпаться порошки. Во избежание неприятностей, чтобы уберечь стол, положите на него лист линолеума, или толстую фанеру, или прессованный картон. В крайнем случае можно обойтись и обычной клеенкой либо полиэтиленовой пленкой. Если стол не отдан полностью в ваше распоряжение, сделать это совершенно необходимо. Вдобавок не помешает поставить на стол еще и поддон — например, большую фотографическую кювету, которую легко можно вымыть после опыта. Между прочим, и стол после работы нужно протереть влажной тряпкой, а затем вытереть насухо.

Очень удобно, если над столом можно повесить полку или шкафчик и держать в них все необходимое для опытов. Если же это невыполнимо, то все равно держите посуду и реактивы в одном месте, недалеко от рабочего стола. Ни в коем случае не разбрасывайте их по комнате!





Обзаведитесь, пожалуйста, плотным фартуком, лучше всего клеенчатым. Нам придется иногда иметь дело с едкими веществами, и фартук предохранит вашу одежду. В аптеке или хозяйственном магазине купите пару резиновых перчаток — пригодятся для некоторых опытов.

Теперь поговорим о посуде. Конечно, лучше всего было бы обзавестись настоящими пробирками, колбами, химическими стаканами и тиглями. Однако далеко не всегда это выполнимо. Но выход из положения найдется: надо использовать то, что есть под рукой.

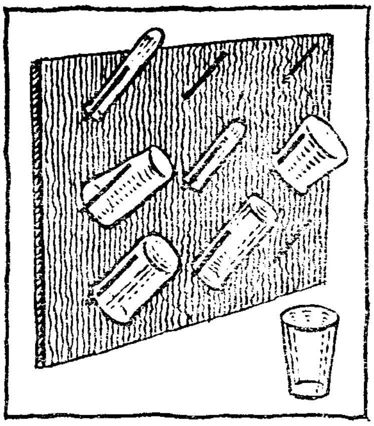
Пробирки проще всего заменить тонкостенными

стеклянными ампулами из-под таблеток. Поскольку дно у них плоское, нагревать их на открытом пламени нельзя, а вот водяную баню они выдерживают. Для проведения опытов и для хранения веществ годятся также флакончики из-под пенициллина, стрептомицина и других лекарств. На первых порах понадобится не более десяти таких самодельных пробирок.

Иногда пробирки приходится нагревать, и, конечно, их при этом нельзя держать голыми руками. Лучшего держателя для пробирок, чем деревянная бельевая прищепка, нам, пожалуй, не найти. Для удобства прищепку можно удлинить, прикрепив к одной из ее развилок палочку или кусок толстой проволоки. Из толстой мягкой проволоки нетрудно сделать держатель, но не забудьте надеть на тот конец, за который вы будете браться рукой, кусок резинового шланга или обмотайте его изоляционной лентой.

Специальный штатив для большинства опытов не требуется, но полезно сделать штатив-подставку для пробирок, чтобы не держать их долго в руках. Самый простой штатив — это брусок, в котором просверлены (не насквозь) отверстия диаметром чуть большим, чем диаметр пробирок.

Химической посудой могут служить также разнообразные флаконы и банки из-под лекарств, которые закрываются обычно полиэтиленовыми пробками. Такие пробки очень удобны, потому что они стандартны и подходят ко многим склянкам. Но главное— полиэтилен химически стоек, он не разрушается даже под действием концентрированных растворов кислот и многих органических растворителей и поэтому во флаконах с полиэтиленовыми пробками можно хранить и такие реактивы, от которых со временем разрушаются резиновые пробки. Между прочим, когда количество реагирующих веществ невелико, крышки и пробки тоже можно использовать для опытов.

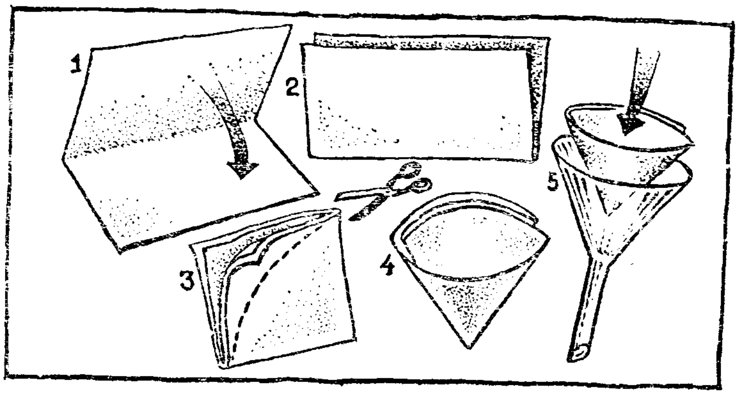


Стеклянная тара от пищевых продуктов — майонезные банки, бутылки, стеклянные банки из-под варенья и компота — годится для хранения реактивов и для некоторых опытов. Помните, что посуду из толстостенного стекла нельзя нагревать — она может лопнуть, В описаниях опытов мы будем советовать, какую посуду лучше взять. Если же посуда не оговорена, значит, годится любая склянка, которая есть под рукой.

Какую бы посуду для хранения веществ вы ни выбрали, она должна быть плотно закрыта, и к ней обязательно надо приклеить этикетку. Самая простая этикетка—из лейкопластыря. Он легко приклеивается к сухому стеклу, на нем удобно писать шариковой ручкой; когда запись поблекнет, ее нетрудно подновить. Можно сделать и бумажную этикетку, приклеив ее казеиновым канцелярским клеем, а чтобы она дольше держалась, ее надо закрыть прозрачной липкой лентой.

Всю посуду перед использованием (и после каждого использования) необходимо тщательно мыть; если посуда грязная, ее моют стиральным порошком с помощью ершика, а потом еще несколько раз чистой водой.

Посуда должна храниться только чистой. Ее надо мыть сразу после опыта (это, кстати, и легче, потому что через час-другой грязь может так пристать к стенкам, что насилу отмоешь). Вымытую посуду лучше сушить так, чтобы вода легко стекала с нее. Можно изготовить для этого нехитрую сушилку: вбить в толстый лист фанеры длинные гвозди, чтобы они пробили лист насквозь и ушли в него по самую шляпку, отогнуть торчащие из фанеры гвозди вверх под углом примерно 45° и обмотать их изоляционной лентой, чтобы не поцарапаться (или надеть резиновые трубки). На всякий случай не помешает затупить напильником острия гвоздей. Это и есть сушилка. Ее надо повесить на стену и поставить внизу поддон, чтобы вода, стекая с пробирок и склянок, надетых на гвозди, не капала на стол или на пол.



Иногда по ходу опыта необходимо прокалить какое-либо вещество. Для этого есть специальная фарфоровая посуда, но можно обойтись и без нее. Выручат тщательно вымытые жестяные баночки из-под гуталина или вазелина. А если вещества немного, воспользуйтесь столовой или даже чайной ложкой из нержавеющей стали. Конечно, для еды эта ложка уже не годится. Точно так же, как бутылки, банки и прочая посуда, которую вы взяли для опытов.

Лучше, наверное, будет купить специально одну-две стальные ложки для своей лаборатории. Они годятся не только для прокаливания, но могут заменить шпатели, которыми набирают вещества для опытов. Если же опыт проводят в пробирке, то можно обойтись и без шпателя: порошки набирают большей частью прямо в сухую пробирку.

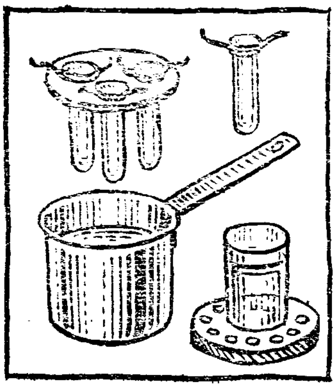
Теперь немного о фильтрах. Они будут нужны очень часто. В описаниях опытов вам то и дело будут попадаться советы: профильтровать жидкость, отделить осадок от раствора. Иногда, правда, можно обойтись без фильтрования. Если осадок достаточно тяжелый, ему дают осесть, а жидкость сливают с него в чистый стакан по стеклянной палочке (этот прием называется декантацией). Но чаще приходится все же фильтровать, а для этого надо уметь делать бумажные фильтры. Для этого нужна специальная бумага, не пропитанная клеем. Она так и называется — фильтровальная. Все с ней хорошо знакомы, даже первоклассники — это обычная промокашка.

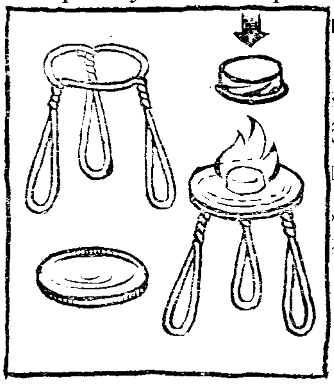
Чтобы сделать фильтр, надо приготовить квадратный кусок фильтровальной бумаги, сложить его пополам и еще раз пополам, а потом обрезать края так, чтобы при развертывании получился круг. Такой сложенный вчетверо листок надо раздвинуть, чтобы образовался конус. Половина этого конуса будет из одного слоя бумаги, другая половина — из трех слоев.

Другой фильтр, немного посложнее — складчатый. Для него вырезают из бумаги круг и складывают его многократно, чтобы получилась гармошка. Через такие складки жидкость фильтруется быстрее, но тяжелый осадок может этот фильтр прорвать; он годится только для легких, хлопьевидных осадков или для крупных кристаллов.

Какой бы фильтр вы ни взяли, его надо положить в воронку—стеклянную (химическую) или пластмассовую, которую продают в хозяйственных магазинах. Он должен плотно прилегать к воронке и не доходить до ее края на несколько миллиметров. Перед работой фильтр смачивают растворителем (как правило, водой; мы чаще всего будем иметь дело с водными растворами), затем осторожно льют жидкость с осадком. Фильтрование требует терпения, потому что жидкость через промокательную бумагу проходит медленно. Но ни в коем случае не отрывайте носик фильтра — вся работа пойдет насмарку.

Иногда можно фильтровать через ткань или несколько слоев марли — это несколько скорее, но не так эффективно. В описаниях опытов будет сказано, через какой материал можно фильтровать без ущерба для дела. Если же особых замечаний по этому поводу вы не обнаружите, то фильтруйте через бумажный фильтр.





ва необходимо нагревать. Если требуется и безопаснее) пользоваться водяной баней. кой) или просто широкая консервная банка, буемой температуры, скажем, до кипения, ной смесью, а чтобы пробирка не упала, , обматывают пробирку проволокой так, и эти усы кладут на край кастрюльки. Или

делают крышку из фанеры так, чтобы она могла лежать на кастрюле, а в крышке просверливают отверстие для пробирок и закрепляют их проволочными усами, только совсем короткими.

Когда вещество нагревают в стакане, то крышка не нужна. Стакан ставят в водяную баню, но не прямо на дно (так он может перегреться), а на подставку из фанеры или куска дерева. В подставке желательно прорезать отверстия, чтобы вода могла циркулировать. А чтобы дерево не всплывало, подставка должна плотно прилегать к стенкам бани.

Наливать много воды не надо — достаточно, если стакан или пробирка будут погружены в воду наполовину. По мере выкипания воду надо понемногу доливать.

Водяную баню можно нагревать на газовой пли электрической плите либо на закрытой электроплитке (пожалуйста, помните об аккуратности в работе!). Если же надо нагревать вещества на открытом пламени до более высоких температур, то лучше пользоваться горелкой с «сухим спиртом», таблетки которого продают в хозяйственных и спортивных магазинах,— таким сухим горючим часто пользуются туристы. Таблетки горючего дают ровное и жаркое пламя. Сжигать их надо на специально сделанном таганке. Его можно изготовить из толстой стальной проволоки в виде треноги и положить сверху жестяную крышку с загнутыми краями, например от стеклянной консервной банки; на этой крышке и поджигают таблетку. Приготовьте и жестяный колпачок, например, маленькую консервную банку, которым вы будете гасить пламя: накройте колпачком горящую таблетку, воздух перестанет к ней поступать, и пламя погаснет.

Еще один способ нагревания до высокой температуры — песочная баня. В небольшую сковородку насыпьте ровным слоем сухой прокаленный песок на высоту около 2 см. На песок поставьте фарфоровую чашку или металлическую банку с реакционной смесью и нагревайте песочную баню на электроплитке. Это старый, надежный и безопасный метод прокаливания, хотя и не очень быстрый.

В заключение этой главы — немного об измерении масс и объемов.

Для домашней лаборатории подойдут аптечные весы, они достаточно точны и стоят недорого. Такого же типа весы с коромыслом для отвешивания фотореактивов продают в фотомагазинах. Если нет настоящих разновесов, воспользуйтесь новыми медными монетами от копейки до пятака; их масса соответственно 1, 2, 3 и 5 г. Годятся и рычажные весы с пределом измерения до 100 г; особо высокой точности взвешивания для большинства наших опытов не потребуется.

Что же касается измерения объемов, то для этой цели можно использовать аптечную мензурку — стеклянную рюмочку с делениями — или мерный стакан. В крайнем случае можно воспользоваться мерной бутылочкой, из которой кормят через соску младенцев. Иногда нам нужны будут и более сложные приборы, многие из которых можно будет собрать из подручных средств. Как именно — об этом будет сказано в описаниях опытов. А сейчас, после всех приготовлений, приступим к работе.

2
ПЕРВЫЕ ОПЫТЫ

Сначала, как положено, самое простое.

Опыты, которые напечатаны в этом разделе, — совсем легкие. Они для тех, кто только качал изучать химию, а может быть, еще и не учит ее. Наверное, и старшеклассники смогут найти здесь что-то полезное для себя. Кстати, вам попадался когда-нибудь такой простой, но очень наглядный опыт— рисование йодом по металлу? Вот с него, пожалуй и начнем.

РИСОВАНИЕ ИОДОМ

Чем особенно хорош этот опыт — все необходимое для него, наверное, есть дома: свечка, аптечный под (спиртовой раствор, йодная настойка) и какой-нибудь негодный железный предмет — старая дверная петля, ключ от неизвестного замка или замок, ключи от

которого потеряны. Металлическую поверхность, на которой будет рисунок, прошлифуйте наждачной шкуркой до блеска, зажгите свечку и наклоните ее так, чтобы парафин капал на блестящую поверхность. Слегка нагрейте предмет, тогда парафин растечется тонким слоем. А когда он охладится и остынет, иглой процарапайте канавки, чтобы они дошли до металла. Наберите пипеткой аптечный йод и капните на царапины. Через несколько минут раствор йода побледнеет, и тогда надо вновь нанести его на царапины. Примерно через час снимите слой парафина: вы увидите на металле ясные следы, они точь-в-точь повторяют рисунок на парафине.

Если опыт был удачным, можно перейти к более серьезному занятию — не просто царапать парафин, а написать на нем слово или сделать рисунок, например, пометить свой перочинный нож или гаечный ключ от велосипеда.

Разберемся, что же происходит, когда йод соприкасается с металлом. Железо вступает в реакцию с подом, в результате образуется соль — йодид железа. А эта соль — порошок, который легко удаляется с поверхности. И там, где были царапины, образовались углубления в металле. Такой процесс называют химическим травлением. К нему часто прибегают, однако используют обычно не йод, а другие вещества, более активные.

Между прочим, йод взаимодействует не только с железом, но и с медью. Значит, им можно травить разные предметы из меди и медных сплавов, например, из латуни. Можете попробовать.

САМОДЕЛЬНЫЕ ИНДИКАТОРЫ

В химических лабораториях то и дело пользуются индикаторами — иногда для определения тех или иных веществ, а большей частью, чтобы узнать кислотность среды, потому что от этого свойства зависит и поведение веществ, и характер реакции. Индикаторы не раз понадобятся и нам, а так как не всегда можно их купить, то попробуем приготовить их самостоятельно. Исходным сырьем будут служить растения: многие цветы, плоды, ягоды, листья и корни содержат окрашенные вещества, способные менять свой цвет в ответ на то или иное воздействие. И, попадая в кислую (или, напротив, в щелочную) среду, они наглядным образом сигнализируют нам об этом.

Растительное «сырье» летом собрать нетрудно — в лесу, в поле, в саду или огороде. Возьмите яркие цветы — ирис, темные тюльпаны и розы, анютины глазки, мальву; наберите малины, ежевики, черники, голубики; запаситесь несколькими листами красной капусты и молодой свеклой.

Так как растворы индикаторов получают отвариванием (отвар — это нечто вроде бульона), то они, естественно, быстро портятся—скисают, плесневеют. Их надо готовить непосредственно перед опытом. Возьмите немного запасенного сырья (точное количество не имеет значения), положите в пробирку, налейте воды, поставьте на водяную БАню и нагревайте до тех пор, пока раствор не окрасится. Каждый раствор после охлаждения профильтруйте и слейте в приготовленную заранее чистую склянку с этикеткой.

Чтобы обеспечить себя индикаторами на весь год, засушите летом лепестки и ягоды, разложите их по отдельным коробочкам, а потом точно так же, как говорилось выше, приготовьте из них отвары, отдельно из каждого растения.

Чтобы узнать, какой отвар служит индикатором на ту или иную среду и как изменяется его цвет, надо провести испытание. Возьмите пипеткой несколько капель самодельного индикатора и добавляйте их поочередно в кислый или щелочной раствор. Кислым раствором может служить столовый уксус, а щелочным — раствор стиральной соды, карбоната натрия. Если, к примеру, добавить к ним ярко-синий отвар из цветков ириса, то под воздействием уксуса он станет красным, соды — зелено-голубым.

Результаты всех этих опытов тщательно записывайте, лучше всего в таблицу; ее образец мы здесь приводим.

Не только листья и ягоды могут сослужить вам службу в качестве индикаторов. На изменение кислотности четко реагируют изменением цвета некоторые соки (в том числе из красной капусты, из вишни, черного винограда, черной смородины) и даже компоты.

Выполнить роль индикатора может обычный борщ. Хозяйки это давно приметили и используют такое свойство свекольного отвара, но не для анализа. Чтобы борщ был ярко-красным, в него перед окончанием варки добавляют немного пищевой кислоты — уксусной или лимонной; цвет меняется буквально на глазах.

В лабораториях широко используют индикатор фенолфталеин. Приготовим его из аптечных таблеток того же названия. Одну-две таблетки разотрите и растворите примерно в 10 мл водки (в крайнем случае, просто в теплой воде). В любом случае таблетки растворятся не полностью, потому что кроме основного вещества, фенолфталеина, в них есть еще наполнитель—тальк или мел. Отфильтруйте полученный раствор через промокательную бумагу и перелейте в чистую склянку с этикеткой «фенолфталеин — индикатор». Этот бесцветный раствор со временем не портится. Он пригодится, и не раз, для определения щелочной среды: в ней он мгновенно краснеет. Для проверки добавьте каплю-другую фенолфталеина к раствору стиральной соды.

А вот и образец таблицы, которая будет служить вам справочником при выборе индикатора:

Индикатор	Цвет раствора		
	исходный	в кислой среде	в щелочной среде
Виноградный сок	Темно-красный	Красный	Зеленый
Синий ирис	Ярко-синий	Красный	Зелено-голубой

Предлагаем вам продолжить таблицу самостоятельно.

И последнее о растительных индикаторах. Некогда было в моде писать приглашения на лепестках цветов; а писали их в зависимости от цветка и желаемого цвета надписи раствором кислоты или щелочи, пользуясь тонким пером или заостренной палочкой. Попробуйте, если хотите, писать таким образом, но лепестки и растворы для письма подберите самостоятельно. Имейте в виду, что раствор должен быть не слишком концентрированным, иначе можно повредить нежный лепесток.

ЭКСТРАКЦИЯ

Сейчас мы познакомимся с очень распространенным в промышленности процессом, который называют экстракцией.

Измельчите несколько ядрышек ореха и горсть семечек подсолнуха (понятно, без шелухи), положите в пробирку и залейте бензином. Рядом не должно быть огня — бензин может загореться! Встряхните пробирку и дайте ей постоять часа два, не забывая время от времени встряхивать. Потом слейте раствор на блюдце и выставьте на сквозняк. Когда бензин испарится, вы увидите на дне немного масла. Так с помощью бензина вы извлекли, экстрагировали, масло из семян. Произошло это благодаря тому, что масло хорошо растворяется в бензине.

Можете попытаться приготовить масло из других семян. Только не вздумайте пробовать его на вкус!

Еще один опыт — с листьями. Для него нам понадобится водяная баня и стакан с тонкими стенками (если они будут толстыми, стакан, как вы помните, может лопнуть). Свежий лист какого-нибудь растения поместите в сосуд и залейте небольшим количеством разбавленного спирта. Нагрейте воду в бане, снимите ее с огня и поставьте внутрь стакан с листом. Некоторое время спустя пинцетом достаньте листок: он обесцветился, а спирт стал изумрудного цвета. Вот так вы провели экстракцию хлорофилла — зеленого пигмента растений.

Кстати, если взять заведомо съедобное растение — салат или шпинат, то из него таким способом можно извлечь пищевой краситель — для подкраски крема или соуса. Так поступают и на пищевых фабриках: зеленый съедобный краситель извлекают экстракцией из листьев. Чтобы ускорить этот процесс, советуем сначала измельчить листья и встряхивать время от времени сосуд.

Еще один опыт. В пробирку, до половины заполненную водой, налейте примерно 1 мл аптечной настойки йода; получится буроватый раствор. Добавьте к нему равное количество бензина, несколько раз встряхните и оставьте в покое. Когда смесь расслоится, то окажется, что верхний, бензиновый слой стал темно-бурым, а нижний, водный слой — почти бесцветным. Йод в воде растворяется плохо, а в бензине — хорошо. Поэтому-то он из водного раствора перешел в бензиновый.

На различии в растворимости основан наш последний опыт с экстракцией. Как быстро отличить порошок кофе от порошка цикория? По запаху, это понятно, но если запах слаб или вы его не помните в точности? Тогда бросьте по щепотке того и другого порошка в прозрачный сосуд с горячей водой. Окрашенные вещества цикория трудно экстрагируются водой, поэтому ока останется практически бесцветной. А вещества кофе, напротив, легко растворяются в воде, и его порошок медленно опускается на дно, оставляя за собой коричневый след.

ОПЫТЫ С ГАЗАМИ

С жидкостями мы уже немного поработали, займемся газами. Это несколько труднее, и прежде всего нам нужны будут пробки с отверстиями и газоотводные трубки.

Трубка может быть стеклянной, металлической и даже пластмассовой. Резиновую пробку лучше не брать — в ней трудно сверлить отверстия. Возьмите корковые или полиэтиленовые пробки — отверстия в них можно прожечь нагретым шилом. В это отверстие вставьте трубочку — к примеру, от глазной пипетки; она должна входить в отверстие пробки плотно, без зазоров, поэтому отверстие в пробке надо сделать сначала чуть меньше, чем требуется, а потом понемногу расширять его, подгоняя под диаметр трубки. Наденьте на стеклянную трубку резиновую или полиэтиленовую гибкую трубку длиной сантиметров 30, в другой ее конец также вставьте короткую стеклянную трубку.

Теперь первый опыт с газами. Приготовьте известковую воду, залив горячей водой (1/2 стакана) половину чайной ложки измельченной гашеной извести, размешайте смесь и дайте отстояться. Прозрачный осадок над отстоявшимся раствором и есть известковая вода. Осторожно слейте жидкость с осадка; этот лабораторный прием, как вы помните, называют декантацией.

Если у вас нет гашеной извести $Ca(OH)_2$, то известковую воду можно приготовить из двух растворов, продающихся в аптеке: хлорида кальция $CaCl_2$ и нашатырного спирта NH_4OH (водного раствора аммиака). При их смешивании также получается прозрачная известковая вода.

Возьмите охлажденную бутылку с минеральной водой или лимонадом. Откройте пробку, быстро вставьте в горлышко пробку с газоотводной трубкой, а другой ее конец опустите в стакан с известковой водой. Поставьте бутылку в теплую воду. Из нее будут выделяться пузырьки газа. Это диоксид углерода CO_2 (он же двуокись углерода, углекислый газ). Его добавляют в воду, чтобы она была вкуснее.

По трубке газ поступает в стакан, он проходит через известковую воду и она на глазах мутнеет, потому что содержащийся в ней гидроксид кальция превращается в карбонат кальция $CaCO_3$, а он плохо растворяется в воде и образует белую муть.

Чтобы поставить опыт с известковой водой, необязательно покупать лимонад или минеральную воду. Ведь при дыхании мы потребляем кислород и выделяем углекислый газ, тот самый, который заставляет мутнеть известковую воду. Опустите конец любой чистой трубки в свежую порцию известковой воды и несколько раз выдохните через трубку— результат не заставит себя ждать.

Откройте еще одну бутылку, вставьте пробку с трубкой и продолжайте пропускать через известковую воду диоксид углерода. Некоторое время спустя раствор опять станет прозрачным, потому что диоксид углерода вступает в реакцию с карбонатом кальция, превращая его в другую соль—гидрокарбонат $Ca(HCO_3)_2$, а эта соль как раз очень хорошо растворяется в воде.

Следующий газ, которым мы займемся, совсем недавно был упомянут: аммиак. Его

легко узнать по резкому характерному запаху — запаху аптечного нашатырного спирта.

Налейте в бутылку немного прокипяченного насыщенного раствора стиральной соды. Затем добавьте нашатырного спирта, вставьте в горлышко пробку с гибкой отводной трубкой и на другой ее конец наденьте пробирку вверх дном. Подогрейте бутылку в теплой воде. Пары аммиака легче воздуха, и вскоре они заполнят перевернутую пробирку. По-прежнему держа пробирку вверх дном, осторожно опустите ее в стакан с водой. Почти сразу же вода начнет подыматься вверх, в пробирку, потому что аммиак хорошо растворяется в воде, освобождая для нее место в пробирке.

Заодно вы можете научиться распознавать аммиак — и не только по запаху. Во-первых, убедитесь в том, что раствор аммиака имеет щелочную реакцию (воспользуйтесь фенолфталеином или самодельными индикаторами). А во-вторых, проведите качественную реакцию на аммиак. Качественная реакция — такая, которая позволяет безошибочно опознать то или иное вещество либо группу веществ.

Приготовьте слабый раствор медного купороса (он должен быть бледно-голубым) и опустите в него газоотводную трубку. Когда начнет выделяться аммиак NH_3, то у конца трубки раствор станет ярко-синим. Аммиак с солью меди дает ярко окрашенное комплексное соединение довольно сложного состава $[Cu(NH_3)_4]SO_4$.

Теперь постарайтесь раздобыть совсем небольшой кусок карбида кальция — будем получать ацетилен. Соберите прибор, как в предыдущем опыте, только в бутылку налейте не нашатырный спирт, а соду. Опустите в нее тщательно завернутый в промокательную бумагу маленький, с горошину, кусочек карбида кальция и вставьте пробку с трубкой. Когда промокательная бумага размокнет, начнет выделяться газ, который вы, как и прежде, будете собирать в перевернутую пробирку. Минуту спустя переверните пробирку горлышком вверх и поднесите зажженную спичку. Газ вспыхнет и сгорит коптящим пламенем. Это тот самый ацетилен, которым пользуются газосварщики.

Кстати, в этом опыте получается не только ацетилен. В бутылке остается водный раствор гидроксида кальция, т. е. известковая вода. Ее можно использовать для опытов с диоксидом углерода.

Следующий опыт с газами можно ставить только при хорошей вентиляции, а если ее нет, то на свежем воздухе. Мы будем получать резко пахнущий диоксид серы (сернистый газ) SO_2.

Налейте в бутылку разбавленную уксусную кислоту и добавьте немного завернутого в промокательную бумагу сульфита натрия Na_2SO_3 (это вещество продают в фотомагазинах). Закройте бутылку пробкой, свободный конец газоотводной трубки опустите в стакан с приготовленным заранее разбавленным раствором перманганата калия $KMnO_4$ (это вещество известно в быту под названием марганцовки). Раствор должен быть бледно-розовым. Когда бумага размокнет, из бутылки начнет выделяться диоксид серы. Он вступает в реакцию с раствором перманганата калия и обесцвечивает его.

Если вам не удастся купить сульфит натрия, то замените его содержимым большого патрона обычного фотопроявителя. Правда, в этом случае в диоксиде серы будет примесь диоксида углерода, но опыту это не помешает.

ОКИСЛЕНИЕ-ВОССТАНОВЛЕНИЕ

Опыт с диоксидом серы продемонстрировал нам одну из многочисленных окислительно-восстановительных реакций. В таких реакциях атомы одних веществ присоединяют электроны, а других — отдают электроны. Первые носят название окислителей (перманганат калия), вторые — восстановителей (диоксид серы).

Поставим еще несколько опытов с окислением — восстановлением.

На свежий срез картофеля капните разбавленной йодной настойкой: появится синяя окраска. Это крахмал, содержащийся в картофеле, синеет в присутствии свободного йода. Такую реакцию часто используют для того, чтобы обнаружить крахмал, значит, это тоже качественная реакция.

На то же место, куда вы капнули йодную настойку, налейте немного раствора

сульфита натрия. Окраска быстро исчезнет. Произошло вот что: сульфит отдал свободному йоду электрон, тот стал электрически заряженным, превратился в ион, а в таком состоянии йод уже не реагирует с крахмалом.

Такое свойство сульфита натрия, как и диоксида серы, означает, что эти вещества — хорошие восстановители. Вот еще любопытный опыт с сульфитом. Его компаньоном-окислителем вновь будет перманганат калия.

В четыре пробирки налейте бледно-розовый, розовый, светло-фиолетовый и темно-фиолетовый растворы марганцовки. В каждую пробирку добавьте раствор сульфита натрия. Содержимое первой пробирки станет почти бесцветным, второй — буроватым. В третьей пробирке выпадут бурые хлопья, в четвертой тоже, но осадка будет намного больше. Во всех пробирках образуется твердый оксид марганца MnO_2. Но в первых двух пробирках он существует в виде коллоидного раствора (твердые частицы настолько малы, что раствор кажется прозрачным). А в остальных двух пробирках концентрация MnO_2 настолько велика, что частицы слипаются и выпадают а осадок.

Вообще марганцовка напоминает химического хамелеона — так она умеет менять свой цвет. Например, в щелочной среде раствор перманганата калия из красно-фиолетового становится зеленым, потому что перманганат восстанавливается до зеленого манганата. Чтобы проверить это, бросьте в раствор щелочи — в концентрированный прокипяченный раствор стиральной соды — кристаллик марганцовки, и вместо привычного розового окрашивания появится зеленое.

Этот опыт получается еще красивее, когда работают с едким натром, но для домашнего экспериментирования, пока у вас нет навыка и умения, такие щелочи рекомендовать нельзя. Если же вы занимаетесь в кружке, то поставьте опыт так: налейте в тонкостенный стакан немного красного раствора марганцовки (он должен быть прозрачным) и очень небольшими порциями, чтобы реакционная смесь не разогревалась, добавляйте достаточно концентрированный раствор едкого натра. Наблюдайте за цветом жидкости — сначала он будет становиться все более фиолетовым, затем, по мере увеличения щелочности, синим, и, наконец, зеленым.

Смена окраски особенно отчетливо видна в проходящем свете. В любом случае освещение должно быть хорошим, без этого переходы оттенков можно и не заметить.

Следующий опыт поможет вам отличить грязную воду от чистой. Одну пробирку наполните чистой водой, другую — водой из застоявшейся лужи или из болота. Добавьте в пробирки немного раствора окислителя—перманганата калия. В водопроводной воде он останется розовым, в воде из лужи — обесцветится. В теплую погоду в стоячей воде скапливаются органические вещества. Они, как и сульфит натрия, восстанавливают перманганат калия, меняют его окраску.

В первом опыте с сульфитом натрия предлагалось брать его из большого патрона проявителя. Если вы последовали этому совету, то у вас остался малый патрон, который содержит смесь метола и гидрохинона. Растворите эту смесь в воде; раствор будет очень слабо окрашенным. Прибавьте немного хлорной извести (это распространенное дезинфицирующее вещество, обращаться с ним надо осторожно). Содержимое пробирки станет желтым. Хлорная известь — хороший окислитель, она окисляет гидрохинон до хинона, а тот окрашен в желтый цвет. Если же теперь добавить в пробирку смесь сульфита натрия и соды из большого патрона, то желтая окраска исчезнет: сульфит натрия вновь восстановит хинон до гидрохинона.

Последний опыт на тему «окисление — восстановление» мы поставим с соединениями хрома. Такие опыты часто бывают красочными, что неудивительно, так как «хромое» по-гречески означает «цвет».

Итак, возьмите немного желтого раствора бихромата калия $K_2Cr_2O_7$; это вещество широко применяют в технике в качестве окислителя, например, для очистки сильно загрязненных деталей; обращаться с ним надо аккуратно. Если добавить в желтый раствор немного серной кислоты (осторожно! лить кислоту медленно!), то он станет красным. В

такой подкисленный раствор бросьте несколько кусочков цинка. Если у вас нет гранулированного цинка, с которым обычно ставят опыты, то добудьте цинк самостоятельно, из негодной батарейки: металлические стаканчики в элементах питания — цинковые.

Итак, вы бросили в стакан с раствором немного цинка, и бихромат, восстанавливаясь, меняет цвет на темно-зеленый. Это образовались ионы Cr^{3+}. Одновременно благодаря реакции цинка с кислотой выделяется газ — водород. Если продукты реакции не окисляются кислородом воздуха, то реакция будет идти и дальше, причем появится голубая окраска — такой цвет у раствора сульфата хрома $CrSO_4$. Перелейте его в другой стакан; пока вы будете это делать, произойдет окисление, и раствор опять станет зеленым.

АДСОРБЦИЯ

С физико-химическим явлением, о котором сейчас пойдет речь, знаком, наверное, каждый, хотя, может быть, не все знают, что оно называется адсорбцией. Если даже вы и не проходили адсорбцию на уроках, наблюдали вы ее неоднократно. Как только вы сажаете чернильную кляксу на бумагу или, что гораздо хуже, на одежду, так сразу и знакомитесь с этим явлением. Когда поверхность одного вещества (бумаги, ткани и т. д.) поглощает частицы другого вещества (чернил и проч.), это и есть адсорбция.

Очень хороший адсорбент — уголь. Причем не каменный, а древесный, и не просто древесный, а активный (активированный). Такой уголь продают в аптеках, обычно в виде таблеток. С него и начнем опыты по адсорбции.

Приготовьте бледный раствор чернил любого цвета и налейте в пробирку, но не доверху. Положите в пробирку таблетку активного угля, лучше растолченного, закройте пальцем и встряхните как следует. Раствор посветлеет на глазах. Поменяйте раствор на какой-либо другой, но тоже окрашенный — пусть это будет разбавленная гуашь или акварель. Эффект окажется таким же. А если взять просто кусочки древесного угля, то они будут поглощать краситель значительно слабее.

В этом нет ничего странного: активный уголь отличается от обычного тем, что у него гораздо большая поверхность. Его частицы буквально пронизаны порами (для этого уголь особым способом обрабатывают и удаляют из пего примеси). А коль скоро адсорбция—это поглощение поверхностью, то ясно: чем больше поверхность, тем и поглощение лучше. Адсорбенты способны поглощать вещества не только из растворов. Возьмите поллитровую стеклянную банку и капните на дно одну каплю одеколона или любого другого пахучего вещества. Обхватите банку ладонями и подержите её так с полминуты, чтобы немного нагреть пахучую жидкость — тогда она будет быстрее испаряться и сильнее пахнуть. Как принято в химии, не нюхайте вещество прямо из склянки, а легкими взмахами руки направьте к носу воздух вместе с парами вещества; не всегда ведь известно, хорошо ли пахнет то вещество, которое в склянке.

Каким бы ни был запах, вы его, конечно, почувствуете явственно. А теперь положите в склянку немного активного угля, закройте ее плотно крышкой и оставьте на несколько минут. Снимите крышку и вновь направьте воздух к себе взмахами ладони. Запах исчез. Он поглотился адсорбентом, или, точнее, поглотились молекулы летучего вещества, которое вы поместили в банку.

Не обязательно брать для этих опытов активный уголь. Есть много других веществ, которые могут служить адсорбентами: туф, сухая размолотая глина, мел, промокательная бумага. Словом, самые разные вещества, но обязательно с развитой поверхностью. В том числе и некоторые пищевые продукты — вы, наверное, знаете, как легко хлеб впитывает посторонние запахи. Недаром пшеничный хлеб не советуют держать в одной упаковке с ржаным — их запахи смешиваются, и каждый теряет свой особый, только ему присущий аромат.

Очень хороший адсорбент — воздушная кукуруза, или кукурузные палочки, столь любимые многими из нас. Конечно, тратить на опыт пакет или даже четверть пакета нет смысла, но несколько штук... Попробуем. Предыдущий опыт с пахучими веществами повторите в присутствии кукурузных палочек — и запах совершенно исчезнет. Конечно,

после опыта есть палочки уже нельзя.

Вернемся к опыту с получением диоксида углерода (углекислого газа). Заполните этим газом две пробирки, причем в одну положите кукурузные палочки и встряхните несколько раз. Далее, как и прежде, проделайте опыт с известковой водой (можно просто «наливать» в нее газ из пробирок — он тяжелее воздуха). Будет ли разница в поведении известковой воды? Да, будет. Жидкость станет мутной только в том стакане, в который «вылили» газ, не обработанный адсорбентом. А из другой пробирки, той, где были кукурузные палочки, диоксида углерода не извлечь: его поглотил адсорбент.

Если вы работаете в химическом кружке и уже научились получать и собирать такие окрашенные газы, как хлор и оксид азота (дома с ними дела иметь не надо, тут требуется хорошая тяга), то можете испытать на них действие угля и кукурузных палочек. В сосуд с окрашенным газом поместите адсорбент, встряхните несколько раз — и окраска, если не исчезнет совсем, то заметно ослабеет.

Сейчас на многих кухнях над газовыми плитами ставят разнообразные устройства для очистки воздуха от чада и дыма. В таких устройствах, помимо прочего, есть патрон с каким-либо адсорбентом, через который прогоняют загрязненный воздух. Что при этом происходит, вы теперь знаете. А когда вся поверхность будет занята посторонними, «впитанными» из воздуха частицами, патрон заменяют свежим.

ХИМЧИСТКА

Опыты из этой главы можно назвать повторением пройденного, потому что при химической чистке и выведении пятен чаще всего используют как раз те процессы, с которыми вы недавно познакомились в опытах. А именно: экстракцию, окисление—восстановление и адсорбцию.

Конечно, не стоит ради опытов пачкать одежду. Поступим так: заготовим несколько кусочков светлой ткани, на нее посадим разные пятна и попытаемся их вывести. А если опыты пройдут успешно, можно рискнуть почистить и свой костюм (или чужой — если разрешат...).

Самые распространенные пятна — жировые. Их выводят, как правило, с помощью экстракции, подбирая для этого подходящий растворитель. Для выведения свежих жировых пятен годятся бензин, скипидар, медицинский эфир. Ваткой, смоченной растворителем, протрите пятно несколько раз, и жир перейдет в раствор. Чтобы на ткани не осталось ореола, ее надо протереть мыльной водой или раствором стирального порошка.

Старые жировые пятна удалить труднее, тут одним растворителем не обойтись, нужны смеси. Например, бензина, медицинского эфира и скипидара (7:1:2) или винного спирта, скипидара и медицинского эфира (10:2:1).

Если ткань цветная, то надо позаботиться о том, чтобы растворитель не повредил окраску. Прежде чем приступить к работе, проверьте, не изменяет ли выбранный вами растворитель цвет ткани.

Пятно от масляного лака хорошо удаляет паста из бензина и белой глины. Тестообразную смесь наносят на пятно и оставляют до тех пор, пока бензин полностью не испарится. В этом случае к экстракции добавляется адсорбция: белая глина впитывает, поглощает вещества, экстрагируемые бензином.

Свежее пятно от масляной краски сначала смочите скипидаром (для размягчения), а потом удалите бензином. Если такая обработка может повредить окраске, то протрите пятно горячим раствором глицерина или его смесью с равным количеством винного спирта.

Экстракцией можно удалить и пятна от травы, Помните опыт, в котором мы экстрагировали хлорофилл спиртом? Так вот, если протереть испачканное место спиртом (или медицинским эфиром), можно постепенно экстрагировать хлорофилл из пятна, и оно обесцветится.

Чернильные пятна, посаженные на одежду, тоже удается иногда обесцветить. Для этого насыпьте на пятно немного толченого мела или зубного порошка и капните 2—3 капли спирта. Спирт растворит краситель чернил, а мел впитает окрашенный раствор. Снимите

испачканный мел тупым концом ножа, нанесите свежую порцию мела и спирта и повторяйте эту операцию до тех пор, пока мел не будет оставаться белым. Дайте ему высохнуть и снимите остатки щеткой.

И в этом случае мы сочетали экстракцию с адсорбцией. Вообще при удалении пятен такой двойной прием часто оказывается самым эффективным: белая глина, мел и тому подобные порошки не позволяют подкрашенному раствору расползаться по ткани, образуя ореол вокруг бывшего пятна.

Теперь об окислительно-восстановительных реакциях, которые тоже помогают удалять пятна.

Свежие пятна от ягод и соков удается нередко снять просто горячей водой. Если же это не возымеет действия, то эти пятна на белых тканях можно обесцветить раствором пероксида водорода (можно растворить таблетку гидроперита в половине стакана воды). Пропитайте пятно этим раствором, добавив к нему несколько капель нашатырного спирта, протрите чистой ваткой и промойте водой. Пероксид (перекись) водорода — сильный окислитель, он окисляет многие красители, и они обесцвечиваются.

Пятна от горячего утюга на хлопчатобумажных и льняных белых тканях тоже можно удалить с помощью реакции окисления — восстановления. В качестве окислителя надо использовать водный раствор хлорной извести (осторожно!) в отношении 1:50 по массе. При перегреве ткани образуются коричневые продукты термического окисления, а хлорная известь разрушает их, делает бесцветными. Но имейте в виду, что в результате реакции образуется соляная (хлороводородная) кислота, которая сама по себе может разрушить ткань. Поэтому сразу после чистки ополосните ткань слабым раствором соды, чтобы нейтрализовать кислоту, а затем промойте чистой водой.

Наконец, если на ткань попал йод, то, протерев пятно раствором тиосульфата натрия (гипосульфита), вы выведете пятно бесследно. Вы уже знаете, что в этой реакции окислитель и что — восстановитель.

СТИРКА

От химчистки вполне естественно будет перейти к стирке, что мы и сделаем.

Стирка — физико-химический процесс, его главные действующие лица — поверхностно-активные вещества. Молекулы таких веществ состоят из двух частей — гидрофильной, т. е. имеющей сродство к воде, и гидрофобной, которая с водой не взаимодействует, зато охотно вступает в контакт с загрязняющими веществами, например, с трудно отмываемыми жирами и маслами. Эти группы — гидрофильные и гидрофобные — находятся на разных концах длинной молекулы. Такие молекулы прикрепляются своими гидрофобными концами к жирной поверхности, а гидрофильные торчат наружу, словно иголки у ежа. Вода эти «иголки» хорошо смачивает, она окружает такого «ежа», отрывает его от поверхности и уносит прочь. Примерно так действует и мыло, и стиральный порошок. А чтобы поскорее удалить грязь с ткани или с наших рук, мы их трем губкой, щеткой, друг о друга...

Коль скоро мыло — самое старое поверхностно-активное вещество, с него и начнем.

Растворите в небольшом количестве воды немного мыла, добавьте в пробирку раствор фенолфталеина. Окраска станет малиново-красной. Значит, среда щелочная. И в самом деле, обычное мыло — натриевая соль жирных кислот — олеиновой, стеариновой, например, $C_{17}H_{35}COONa$ (а жидкое мыло — калиевая соль тех же кислот). При растворении в воде такие соли гидролизуются, распадаются на кислоту и щелочь. Но жирные кислоты слабые, а щелочи в данном случае сильные, поэтому раствор имеет щелочную реакцию.

Раньше думали, будто мыло хорошо стирает и моет потому, что оно образует щелочь. Оказалось, что дело вовсе не в этом. Напротив, щелочь (например, стиральная сода) моет потому, что она соединяется с жирами и образует в растворе поверхностно-активные вещества подобные мылу.

Между прочим, мыло не так уж сложно получить самим. Есть несколько способов; вот один из них. Приготовьте горячий концентрированный раствор стиральной соды,

налейте его в пробирку и постепенно, по каплям, добавляйте растительное масло, пока оно не перестанет растворяться. Вместо масла можно взять пчелиный воск. В полученный раствор насыпьте щепотку поваренной соли. Так же поступают и на мыловаренных заводах — этот процесс называют высаливанием. После добавления соли твердое мыло всплывает на поверхность и его легко отделить от раствора.

Сейчас мыло для стирки применяют все реже, а стиральные порошки все чаще. В состав этих порошков входят поверхностно-активные вещества, полученные синтетически. Поэтому их и называют синтетическими моющими средствами.

Поставим такой опыт. Разрежьте лоскут грязной ткани на три части и опустите каждый кусочек в стаканы. В первый стакан налейте просто подогретую воду, во второй — мыльный раствор, а в третий — раствор любого стирального порошка, какой найдется дома. Слегка потрите лоскутки, ополосните их в чистой воде, высушите и внимательно разглядите. Тот кусочек ткани, который побывал в воде, стал ненамного чище. Лоскуток из мыльного раствора заметно посветлел. Но самым чистым окажется тот кусочек ткани, который вы извлекли из стакана с раствором стирального порошка. Значит, синтетические моющие средства действуют более энергично, чем обычное мыло.

У многих стиральных порошков есть еще одно ценное свойство: они моют в любой воде — в мягкой, в жесткой, даже в морской. А мыло?

Возьмите обычную воду и растворите в ней какую-нибудь соль кальция или магния. Можно купить в аптеке горькую соль, можно взять сухую морскую соль (она тоже продается в аптеках) или раствор хлорида кальция. Таким образом вы сделаете воду жесткой, ведь жесткая вода тем и отличается от мягкой, что содержит много солей кальция и магния — так называемых солей жесткости.

Вновь возьмите кусочек грязной ткани и попробуйте выстирать его мылом в такой жесткой воде. Ничего у вас не выйдет — даже пены не образуется. Соли жесткости вступают с мылом в реакцию, образуются кальциевые и магниевые мыла, а они нерастворимы в воде. И наше мыло теряет все свои полезные свойства.

Но если в жесткой воде растворить стиральный порошок, например «Лотос», он будет отстирывать грязь почти так же, как прежде — жесткая вода ему не вредит. Поверхностно-активные вещества, входящие в состав порошка, не взаимодействуют с солями жесткости, а значит, не теряют своих свойств.

Растворы стиральных порошков, как и растворы хозяйственного мыла, могут быть щелочными; в этом случае в них рекомендуют стирать хлопок и лен, но никак не шерсть и не шелк. Однако есть и нейтральные средства, их нередко выпускают не в виде порошков, а в виде жидкостей; они-то и хороши для шерсти, шелка и синтетических тканей. Если возникнут сомнения, стоит ли стирать тем или иным порошком шерстяной свитер, то проведите пробу с фенолфталеином. Раствор стал красным — значит, в нем есть свободная щелочь, а она шерсти противопоказана, потому что может разрушить волокна. Но если раствор остался бесцветным или окрасился совсем немного, смело погружайте в него и шерстяные и шелковые вещи.

В былые времена, когда мыло было предметом роскоши, для стирки часто использовали другие, более доступные вещества, которые хотя и в меньшей степени, но все же отстирывали грязь. Попробуйте и вы, как действуют эти вещества. Можете взять для опыта порошок горчицы или отвар фасоли, но еще лучше — корни некоторых растений, например, примулы, вороньего глаза, цикламена, куколи. В этих корнях содержатся сапонины — вещества, обладающие моющим действием (возможно, в старых книжках вы встречали такое выражение — мыльный корень). Все эти природные вещества стирают, конечно, хуже мыла, но вы без труда убедитесь, что они все же стирают.

Главу о моющих средствах закончим опытом, в котором, добавляя поверхностно-активные вещества и изменяя тем самым поверхностное натяжение воды, мы заставим предмет двигаться по воде.

Из тонкой медной проволоки сделайте плоскую спираль в несколько витков, слегка

смажьте ее маслом или вазелином и очень осторожно опустите на поверхность воды. Поверхностное натяжение воды не дает спирали утонуть, а вода ее не смачивает. Теперь пипеткой аккуратно капните в самую середину спирали одну каплю мыльного раствора. Спираль сейчас же начнет вертеться. Растекаясь по поверхности, мыльный раствор доходит до конца спирали, выходит из нее и развивает небольшую реактивную тягу. Когда спираль остановится, капните мыльный раствор еще раз — вращение возобновится.

Такая спираль может послужить прибором для определения поверхностной активности различных жидкостей. Замените мыльный раствор другим веществом — спираль станет двигаться с другой скоростью. Если капнуть раствор поваренной соли, то кругового движения не будет вовсе. А в растворе стирального порошка спираль быстро утонет. Он смывает слой масла, который удерживает проволоку на воде.

СВЕЧА ИЗ МЫЛА

Когда мы рассуждали о том, отчего мыло моет, то упоминали особое устройство его молекулы: «голова» и длинный «хвост», причем «голова» стремится к воде, а «хвост», напротив, от воды отталкивается...

Рассмотрим повнимательнее гидрофобный «хвост» — длинную углеводородную цепочку. Такого рода соединения очень распространены и крайне важны для промышленности. Они непременная составляющая часть многих жиров, масел, смазок и других полезнейших веществ. Одно из них — так называемый стеарин — мы сейчас и получим, взяв за основу хозяйственное мыло.

Ножом настрогайте с полкуска хозяйственного мыла и положите в чистую консервную банку (или в отслужившую свое кастрюльку). Налейте воды, так чтобы она с избытком покрывала мыльную стружку, и поставьте смесь на водяную баню. Помешивайте время от времени содержимое кастрюльки деревянной палочкой, чтобы мыло поскорее растворилось в воде. Когда это, наконец, произойдет, снимите сосуд с огня (разумеется, не голой рукой) и вливайте в него уксус. Под действием кислоты из раствора выделится и всплывет на поверхность густая белая масса. Это и есть стеарин — полупрозрачная смесь нескольких веществ, главным образом стеариновой $C_{17}H_{35}COOH$ и пальмитиновой $C_{15}H_{31}COOH$ кислот. Точный состав сказать невозможно, он зависит от веществ, которые пошли на приготовление мыла.

Из стеарина, как известно из художественной литературы, делают свечки. Вернее, делали раньше, потому что сейчас свечи большей частью не стеариновые, а парафиновые — получаемый из нефти парафин дешевле и доступнее. Но, коль скоро в нашем распоряжении есть стеарин, мы и приготовим из него свечу. Это, между прочим, само по себе занимательное занятие!

Когда банка совсем остынет, соберите стеарин с поверхности ложкой и переложите его в чистую посуду. Два-три раза промойте стеарин водой и заверните в чистую белую тряпку или в фильтровальную бумагу, чтобы впиталась лишняя влага. Когда стеарин совершенно высохнет, примемся за свечку.

Вот едва ли не самый простой прием: толстую витую нить, например, от фитиля для керосинки окунайте многократно в слегка подогретый расплавленный стеарин, каждый раз давая стеарину затвердеть на фитиле. Поступайте таким образом до тех пор, пока на фитиле не нарастет свеча достаточной толщины. Это хороший способ, хотя и несколько утомительный; во всяком случае, в давние времена так нередко готовили свечи.

Есть способ и попроще: сразу обмазать фитиль подогретым до размягчения стеарином (можно даже только что приготовленным, еще не остывшим). Но в этом случае фитиль будет хуже пропитываться плавкой массой и свеча получится не очень хорошей, хотя и будет гореть.

Для красивых, фигурных свечей и способы изготовления непросты. И прежде всего надо сделать форму — деревянную, гипсовую, металлическую. Фитиль и в этом случае желательно сначала пропитать одним-двумя слоями стеарина; затем его закрепляют в форме так, чтобы он проходил точно посередине. Желательно, чтобы фитиль был немного натянут.

И уже после этого в форму заливают горячий стеарин.

Между прочим, таким образом можно делать свечи из парафина, т. е., собственно, из покупных свечей, расплавляя их и придавая им ту форму, какая вам по душе. Однако предупреждаем — придется повозиться...

Получив свечу из мыла, проведем опыт в обратном направлении: приготовим мыло из свечи. Только не из парафиновой, из нее мыла вообще нельзя сделать, ибо у молекул парафинов нет «голов». Но если вы уверены, что свеча стеариновая, то смело можете готовить из нее хозяйственное мыло. Годится также натуральный пчелиный воск.

Несколько обломков стеариновой свечи нагрейте на водяной бане, достаточно горячей, но не доведенной до кипения. Когда стеарин полностью расплавится, добавьте к нему концентрированный раствор стиральной (кальцинированной) соды. Образовавшаяся белая вязкая масса и есть мыло. Подержите его еще несколько минут на водяной бане, а затем, надев рукавицу пли обмотав руку полотенцем, чтобы не обжечься, вылейте еще горячую массу в какую-либо форму — хотя бы в спичечный коробок. Когда мыло застынет, выньте его из коробка.

Убедиться в том, что это мыло и что оно моет, трудя не составит. Только, пожалуйста, не используйте его для мытья рук — ведь мы не знаем, насколько чистыми были вещества, входившие в состав свечки.

МЕЛ, МРАМОР, СКОРЛУПА...

Кусочек природного мела $CaCO_3$ смочите каплей соляной кислоты HCl (можно взять аптечную кислоту). Там, куда упала капля, заметно энергичное вскипание. Внесите кусочек мела с «кипящей» каплей в пламя свечи или сухого спирта. Пламя окрасится в красивый красный цвет.

Это явление известное: кальций, входящий в состав мела, делает пламя красным. Но зачем кислота? Она, реагируя с мелом, образует растворимый хлорид кальция $CaCl_2$, его брызги уносятся газами и попадают непосредственно в пламя — от этого опыт становится эффектнее.

К сожалению, такой опыт с прессованным школьным мелом не удается — в нем есть примесь соды (соли натрия), и пламя окрашивается в оранжевый цвет. Лучше всего опыт получается с кусочком белого мрамора, смоченного той же кислотой. А убедиться в том, что соли натрия окрашивают пламя в интенсивный желтый цвет, вы сможете, внеся в пламя крупинку соли $NaCl$ (или просто слегка «посолив» огонь).

Для следующего опыта с мелом понадобится свеча. Укрепите ее на негорючей подставке и внесите в пламя кусочек мела (мрамора, ракушки, яичной скорлупы). Мел покрывается копотью — значит, температура пламени мала. Мы собираемся обжечь мел, а для этого нужна температура 700—800 °С. Как же быть? Надо увеличить температуру, продувая через пламя воздух.

С аптечной пипетки снимите резиновый колпачок и вместо него наденьте резиновую или пластмассовую трубку. Дуйте в трубку таким образом, чтобы через оттянутый конец пипетки воздух попал в пламя над самым фитилем. Язычок пламени отклонится в сторону, температура его повысится. Направьте язычок на самую острую часть мелка. Этот участок раскалится добела, мел превратится здесь в жженую (негашеную) известь CaO, а заодно выделится диоксид углерода.

Проделайте эту операцию несколько раз с кусочками мела, мрамора, яичной скорлупы. Обожженные кусочки положите в чистую жестянку. Пока они остывают, самый большой кусочек поместите в блюдце и капните воды на то место, которое было накалено. Раздастся шипение, вся вода поглотится, а прокаленный участок рассыплется в порошок. Этот порошок — гашеная известь $Ca(OH)_2$.

Добавьте воды побольше и капните раствор фенолфталеина. Вода в блюдце станет красной; значит, гашеная известь образует щелочной раствор.

Когда обожженные кусочки охладятся, поместите их в стеклянную банку или бутылку, залейте водой, закройте крышкой и взболтайте — вода станет мутной. Вы уже

знаете, что мы сейчас получим известковую воду. Дайте жидкости отстояться и слейте прозрачный раствор в чистую склянку. Отлейте немного известковой воды в пробирку — и можно ставить с нею описанные ранее опыты с газами. А можно и фокусы, вроде превращения «воды» в «молоко» или «воды» в «кровь». Описание таких фокусов вы найдете в разделе «Ловкость рук».

ЭЛЕКТРОЛИЗ В СТАКАНЕ

Опыты с электричеством еще не раз встретятся вам в этой книге. Сейчас—самые простые. Чтобы провести их, достаточно трех-четырех батареек для карманного фонаря.

Вообще-то опыты по электрохимии часто пытаются ставить дома, но не всегда они выходят: какая-нибудь мелочь — и ничего не получается. Если вы будете следовать всем нашим указаниям, можете быть уверены, что опыт удастся.

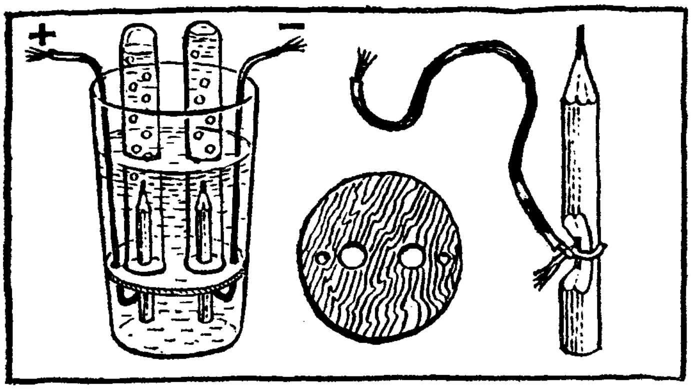
Начнем с очень простого, но тем не менее поучительного опыта. Для него понадобится один-единственный реактив: чернила любого цвета. Правда, придется немного потрудиться над прибором.

Возьмите две металлические полоски длиной 8—10 см и шириной 1—2 см. Они могут быть из железа, меди, алюминия — безразлично, лишь бы свободно проходили в прозрачный сосуд — высокую мензурку или большую пробирку. Перед опытом просверлите в пластинах с одной стороны отверстия для прикрепления проводников. Приготовьте две одинаковые, толщиной буквально в несколько миллиметров, пластмассовые или деревянные прокладки и склейте их с металлическими полосками так, чтобы те, расположившись параллельно, не касались друг друга. Клей годится практически любой — БФ, «Момент» и др.

В мензурку или пробирку налейте воду и капните в нее столько чернил, чтобы раствор не был очень насыщенного цвета (однако он не должен быть и прозрачным). Опустите в него конструкцию из двух полосок, соедините их проводками с двумя батарейками, подключенными последовательно, «плюс» к «минусу». Несколько минут спустя, чернильный раствор между пластинками станет светлеть, а на дне и вверху будут собираться темные частицы.

В состав чернила входят очень мелкие окрашенные частицы, взвешенные в воде. Под действием тока они слипаются и не могут уже плавать в воде, а опускаются на дно под действием силы тяжести. Понятно, что раствор при этом становится все более и более бледным.

Но как же частицы попали наверх? При действии тока на растворы нередко образуются газы. В нашем случае газовые пузырьки подхватывают твердые частицы и уносят их наверх.



В следующем опыте толстостенный чайный стакан, расширяющийся кверху, будет служить электролитической ванной. Приготовьте фанерный кружок такого диаметра, чтобы он прижался к стенке стакана в трех-четырех сантиметрах выше дна. В кружке заранее просверлите два отверстия (или вырежьте в нем по диаметру прорезь), неподалеку шилом проколите два отверстия: через них будут проходить проводки. В большие отверстия или в прорезь вставьте два карандаша длиной 5—6 см, очиненные с одного конца. Карандаши, точнее, их грифели, будут служить электродами. На неочиненных концах карандашей сделайте зарубки, чтобы обнажились грифели, и примотайте к ним оголенные концы проводков. Проводки скрутите и тщательно обмотайте изоляционной лентой, а чтобы изоляция была совсем надежной, лучше всего спрятать проводки в резиновых трубках. Все детали прибора готовы, остается только собрать его, т. е. вставить кружок с электродами внутрь стакана.

Поставьте стакан на тарелку и налейте в него до краев раствор стиральной кальцинированной соды Na_2CO_3 из расчета 2—3 чайные ложки на стакан воды. Таким же раствором заполните две пробирки. Одну из них закройте большим пальцем, переверните вверх дном и погрузите в стакан так, чтобы в нее не попал ни один пузырек воздуха. Под водой наденьте пробирку на электрод-карандаш. Точно так же поступите со второй пробиркой.

Батарейки — числом не менее трех — нужно соединить последовательно, «плюс» одной к «минусу» другой, а к крайним батарейкам подсоединить проводки от карандашей. Сразу начнется электролиз раствора. Положительно заряженные ионы водорода H^+ направятся к отрицательно заряженному электроду — катоду, присоединят там электрон и превратятся в газ водород. Когда у карандаша, подсоединенного к «минусу», соберется полная пробирка водорода, ее можно вынуть и, не переворачивая, поджечь газ. Он загорится с характерным звуком. У другого электрода, положительного (анода) выделяется кислород. Наполненную им пробирку закройте пальцем под водой, выньте из стакана, переверните и внесите тлеющую лучинку — она загорится.

Итак, из воды H_2O получился и водород H_2, и кислород O_2; а для чего же сода? Для ускорения опыта. Чистая вода очень плохо проводит электрический ток, электрохимическая реакция идет в ней слишком медленно.

С тем же прибором можно поставить еще один опыт — электролиз насыщенного раствора поваренной соли $NaCl$. В этом случае одна пробирка наполнится бесцветным водородом, а другая — желто-зеленым газом. Это хлор, который образуется из поваренной соли. Хлор легко отдает свой заряд и первым выделяется на аноде.

Пробирку с хлором, в которой находится также немного раствора соли, закройте пальцем под водой, переверните и встряхните, не отнимая пальца. В пробирке образуется раствор хлора — хлорная вода. У нее сильные отбеливающие свойства. Например, если добавить хлорную воду к бледно-синему раствору чернил, то он обесцветится.

При электролизе поваренной соли образуется еще одно вещество — едкий натр. Эта щелочь остается в растворе, в чем можно убедиться, капнув в стакан возле отрицательного электрода немного раствора фенолфталеина или самодельного индикатора.

Итак, мы получили в опыте сразу три ценных вещества — водород, хлор и едкий натр. Именно поэтому электролиз поваренной соли так широко используют в промышленности.

С помощью тока и насыщенного раствора поваренной соли можно проделать еще один занимательный опыт. Займемся сейчас тем, что будем сверлить металл обыкновенным карандашом.

Приготовьте в чайном блюдце насыщенный раствор поваренной соли. Соедините проводком лезвие безопасной бритвы с положительным полюсом батарейки для карманного фонаря (лезвие будет анодом). На заточенном конце карандаша обломайте грифель и примерно на полмиллиметра выковыряйте его иголкой. На 2—3 см выше сделайте ножом зарубку до грифеля и намотайте на нее конец оголенного провода; это место оберните изоляционной лентой, а другой конец провода присоедините к отрицательному полюсу батарейки (карандаш будет катодом).

Положите лезвие в блюдце с раствором и коснитесь карандашом-катодом лезвия. Тотчас вокруг карандаша начнут бурно выделяться пузырьки водорода. А лезвие-анод будет растворяться: атомы железа приобретут заряд, превратятся в ионы и перейдут в раствор. Так минут через десять-пятнадцать в лезвии получится сквозное отверстие. Особенно быстро оно образуется, если батарейка новая, а лезвие тонкое (0,08 мм). В алюминиевой же фольге отверстие просверливается буквально за секунды.

Если вы захотите просверлить карандашом отверстие в определенном месте тонкой металлической пластинки, то лучше заранее покрыть обрабатываемую деталь лаком, а там, где вы будете сверлить, лак снять.

Углубление в грифеле понадобилось затем, чтобы грифель не касался металла. Иначе

цепь сразу замкнется, ток не пойдет через раствор и никакого электролиза не будет.

Сверлить карандашом можно и без электролитической ванны (в нашем случае, без чайного блюдца). Пластинку-анод положите на доску или на тарелку, капните воды, обмакните карандаш, присоединенный к батарейке, в соль и погрузите заточенный его конец в каплю. Время от времени удаляйте тряпочкой продукты электролиза и наносите новую каплю. Повторяя эту операцию, можно, не прикладывая усилий, просверлить металлическую фольгу или жесть от консервной банки. Так же, между прочим, можно сделать отверстие в сломанном стальном ноже, чтобы приделать к нему новую ручку.

Конечно, для сверления металла толщиной более миллиметра одной батарейки мало — надо включить параллельно несколько батареек или воспользоваться понижающим трансформатором с выпрямителем — например, от детской железной дороги или от прибора для выжигания по дереву. И независимо от источника тока и способа электролиза придется несколько раз менять раствор электролита и хорошо очищать лунку— гвоздем или шилом.

ОЛОВО И СВИНЕЦ

Металлы не очень удобны для опытов: эксперименты с ними требуют, как правило, сложного оборудования. Но некоторые опыты можно поставить и в домашней лаборатории.

Начнем с олова. В хозяйственных магазинах бывают иногда палочки металлического олова для пайки. С таким маленьким слитком можно проделать эксперимент: взять оловянную палочку двумя руками и согнуть — раздастся отчетливый хруст.

У металлического олова такая кристаллическая структура, что при изгибе кристаллики металла как бы трутся друг о друга, возникает хрустящий звук. Кстати, по этому признаку можно отличить чистое олово от оловянных сплавов — палочка из сплава при сгибании никаких звуков не издает.

А сейчас попробуем добыть олово из пустых консервных банок, из тех самых, которые лучше не выбрасывать, а сдавать в утиль. Большинство банок изнутри луженые, т. е. они покрыты слоем олова, который защищает железо от окисления, а пищевые продукты — от порчи. Это олово можно извлечь и использовать повторно.

Прежде всего пустую банку надо как следует очистить. Обычного мытья недостаточно, поэтому налейте в банку концентрированный раствор стиральной соды и поставьте ее на полчаса на огонь, чтобы моющий раствор прокипел как следует. Слейте раствор и промойте банку два-три раза водой. Теперь можно считать ее чистой.

Нам понадобятся две-три батарейки для карманного фонаря, соединенные последовательно; можно, как говорилось выше, взять выпрямитель с трансформатором или аккумулятор на 9—12 В. Каким бы ни был источник тока, к положительному его полюсу присоедините консервную банку (внимательно следите, чтобы был хороший контакт — можно пробить в верхней части банки небольшое отверстие и вдеть в него провод). Отрицательный полюс соедините с каким-либо куском железа, например, с большим очищенным до блеска гвоздем. Опустите железный электрод в банку так, чтобы он не касался дна и стенок. Как его подвесить — придумайте сами, это нехитрая штука. Налейте в банку раствор щелочи— едкого натра (обращаться крайне осторожно!) или стиральной соды; первый, вариант лучше, но требует предельной аккуратности в работе.

Так как раствор щелочи еще не раз будет нужен для опытов, расскажем здесь, как его приготовить. Добавьте стиральную соду Na_2CO_3 к раствору гашеной извести $Ca(OH)_2$ и прокипятите смесь. В результате реакции образуется едкий натр $NaOH$ и карбонат кальция, т. е. мел, практически нерастворимый в воде. Значит, в растворе, который после охлаждения надо профильтровать, останется только щелочь. Но вернемся к опыту с консервной банкой. Вскоре на железном электроде начнут выделяться пузырьки газа, а олово с консервной банки станет понемногу переходить в раствор. Ну а если надо получить не раствор, содержащий олово, а сам металл? Что ж, и это возможно. Выньте из раствора железный электрод и замените его угольным. Тут вам вновь поможет старая, отслужившая свое батарейка, в цинковом стаканчике которой сеть угольный стержень. Извлеките его и соедините проводом с отрицательным полюсом вашего источника тока. На стержне при электролизе будет

оседать губчатое олово, причем если напряжение подобрано правильно, то произойдет это довольно быстро. Правда, может случиться так, что олова с одной банки окажется маловато. Тогда возьмите еще одну банку, аккуратно нарежьте ее на кусочки специальными ножницами для металла и положите внутрь той банки, в которую налит электролит. Будьте внимательны: обрезки не должны касаться угольного стержня!

Собранное на электроде олово можно переплавить. Отключите ток, достаньте угольный стержень с губчатым оловом, положите его в фарфоровую чашку или в чистую металлическую банку и подержите на огне. Вскоре олово сплавится в плотный слиток. Не дотрагивайтесь до него и до банки, пока они не остынут!

Часть губчатого олова можно не переплавлять, а оставить для других опытов. Если растворить его в соляной кислоте — небольшими кусочками и при умеренном нагревании, — то получится раствор хлорида олова. Приготовьте такой раствор концентрацией примерно 7 % и добавьте, помешивая, раствор щелочи чуть большей концентрации, около 10%. Сначала выпадет белый осадок, но вскоре он растворится в избытке щелочи. Вы получили раствор станнита натрия — тот самый, который образовался у вас вначале, когда вы начали растворять олово из банки. Но если так, то первую часть опыта — перевод металла из банки в раствор — можно уже не повторять, а приступить сразу ко второй его части, когда на электроде оседает металл. Это сэкономит вам немало времени, если вы захотите получить побольше олова из консервных банок.

Свинец плавится еще легче, чем олово. В маленький тигель или в металлическую банку из-под гуталина поместите несколько дробинок и нагрейте на пламени. Когда свинец расплавится, осторожно снимите банку с огня, взяв ее за бортик большим надежным пинцетом или плоскогубцами. Расплав свинца вылейте в гипсовую или металлическую форму либо просто в песчаную лунку—так вы получите самодельное свинцовое литье. Если же и дальше прокаливать расплавленный свинец на воздухе, то через несколько часов на поверхности металла образуется красный налет—смешанный оксид свинца; под названием «свинцовый сурик» его часто использовали прежде для приготовления красок.

Свинец, как и многие другие металлы, взаимодействует с кислотами, вытесняя из них водород. Но попробуйте положить свинец в концентрированную соляную кислоту — он в ней не растворится. Возьмите другую, заведомо более слабую кислоту — уксусную. В ней свинец хоть и медленно, но растворяется!

Этот парадокс объясняется тем, что при взаимодействии с соляной кислотой образуется плохо растворимый хлорид свинца $PbCl_2$. Покрывая поверхность металла, он мешает дальнейшему его взаимодействию с кислотой. А вот ацетат свинца $Pb(CH_3COO)_2$, который получается при реакции с уксусной кислотой, растворяется хорошо и не препятствует взаимодействию кислоты и металла.

АЛЮМИНИЙ, ХРОМ И НИКЕЛЬ

С алюминием мы поставим сначала два простых опыта, для которых вполне годится сломанная алюминиевая ложка. Поместите кусочек металла в пробирку с любой кислотой, хотя бы с соляной. Алюминий сразу же начнет растворяться, энергично вытесняя водород из кислоты — образуется соль алюминия $AlCl_3$. Другой кусочек алюминия опустите в концентрированный раствор щелочи, например, каустической соды (осторожно!). И снова металл начнет растворяться с выделением водорода. Только на этот раз образуется другая соль, а именно соль алюминиевой кислоты, алюминат $NaAlO_2$.

Оксид и гидроксид алюминия проявляют одновременно и основные, и кислотные свойства, т. е. они вступают в реакцию как с кислотами, так и со щелочами. Их называют амфотерными. Соединения олова, кстати, тоже амфотерны; проверьте это сами, если, конечно, вы уже извлекли олово из консервной банки.

Существует правило: чем металл активнее, тем он скорее окисляется, подвергается коррозии. Натрий, например, вообще нельзя оставлять на воздухе, его хранят под керосином. Но известен и такой факт: алюминий гораздо активнее, чем, например, железо, однако железо быстро ржавеет, а алюминий, сколько его ни держи на воздухе и в воде, практически

не изменяется. Что это — исключение из правила?

Поставим опыт. Закрепите кусочек алюминиевой проволоки в наклонном положении над пламенем газовой горелки или спиртовки так, чтобы нагревалась нижняя часть проволоки. При 660 °С этот металл плавится; казалось бы, можно ожидать, что алюминий начнет капать на горелку. Но вместо того чтобы плавиться, нагретый конец проволоки вдруг резко провисает. Вглядитесь получше, и вы увидите тонкий чехол, внутри которого находится расплавленный металл. Этот чехол — из оксида алюминия Al_2O_3, вещества прочного и очень жаростойкого.

Оксид тонким и плотным слоем покрывает поверхность алюминия и не дает ему дальше окисляться. Это его свойство используют на практике. Например, для плакирования металлов; на металлическую поверхность наносят тонкий алюминиевый слой, алюминий сразу же покрывается оксидом, который надежно предохраняет металл от коррозии.

И еще два металла, с которыми мы поставим опыт,— хром и никель. В таблице Менделеева они стоят далеко друг от друга, но есть причина, чтобы рассматривать их вместе: и хромом и никелем покрывают металлические изделия, чтобы они блестели, не ржавели. Так, спинки металлических кроватей покрывают обычно никелем, автомобильные бамперы — хромом. А можно ли точно узнать, из какого металла сделано покрытие?

Попробуем провести анализ. Отколите кусочек покрытия от старой детали и оставьте его на воздухе на несколько дней, чтобы он успел покрыться пленкой оксида, а затем поместите в пробирку с концентрированной соляной кислотой (обращаться с осторожностью! Кислота не должна попадать на руки и одежду!). Если это был никель, то он сразу начнет растворяться в кислоте, образуя соль $NiCl_2$; при этом будет выделяться водород. Если же блестящее покрытие из хрома, то первое время никаких изменений не будет и лишь потом металл начнет растворяться в кислоте с образованием хлорида хрома $CrCl_3$. Вынув этот кусочек покрытия из кислоты пинцетом, ополоснув его водой и высушив на воздухе, через два-три дня можно будет снова наблюдать тот же эффект.

Объяснение: на поверхности хрома образуется тончайшая пленка оксида, которая препятствует взаимодействию кислоты с металлом. Однако и она растворяется в кислоте, правда, медленно. На воздухе хром вновь покрывается оксидной пленкой. А вот у никеля такой защитной пленки нет.

Но в таком случае зачем же мы держали металлы на воздухе перед первым опытом? Ведь хром был уже покрыт слоем оксида! А затем, что покрыта была лишь наружная сторона, а внутренняя, обращенная к изделию, с кислородом воздуха в контакт не вступала.

ОПЫТЫ С МЕДНОЙ ПРОВОЛОКОЙ

С медью можно поставить несколько любопытных опытов, поэтому посвятим ей особую главу.

Из кусочка медной проволоки сделайте маленькую спиральку и укрепите ее в деревянной держалке (можно оставить свободный конец достаточной длины и намотать его на обычный карандаш). Прокалите спиральку в пламени. Ее поверхность покроется черным налетом оксида меди CuO. Если почерневшую проволоку опустить в разбавленную соляную кислоту, то жидкость окрасится в голубой цвет, а поверхность металла вновь станет красной и блестящей. Кислота, если она не нагрета, не действует на медь, но растворяет ее оксид, превращая его в соль $CuCl_2$.

Но вот вопрос: если оксид меди черный, почему старинные медные и бронзовые предметы покрываются не черным, а зеленым налетом, и что это за налет?

Попробуйте найти старый медный предмет, скажем, подсвечник. Соскребите с него немного зеленого налета и поместите в пробирку. Горлышко пробирки закройте пробкой с газоотводной трубкой, конец которой опустите в известковую воду (как ее готовить, вы уже знаете). Нагрейте содержимое пробирки. На ее стенках соберутся капли воды, а из газоотводной трубки будут выделяться пузырьки газа, от которого известковая вода мутнеет. Значит, это диоксид углерода. В пробирке же останется черный порошок, который при растворении в кислоте дает голубой раствор. Этот порошок, как вы, наверное,

догадываетесь,— оксид меди.

Итак, мы узнали, на какие составные части разлагается зеленый налет. Его формула записывается так: $CuCO_3*Cu(OH)_2$ (основной карбонат меди). Он образуется на медных предметах, поскольку в воздухе всегда есть и диоксид углерода, и пары воды. Зеленый налет называют патиной. Такая же соль встречается и в природе — это не что иное, как знаменитый минерал малахит.

К опытам с патиной и малахитом мы еще вернемся — в разделе «Приятное с полезным». А сейчас снова обратим внимание на почерневшую медную проволоку. Нельзя ли вернуть ей первоначальный блеск без помощи кислоты?

Налейте в пробирку аптечного нашатырного спирта, раскалите медную проволоку докрасна и опустите ее в пузырек. Спиралька зашипит и вновь станет красной и блестящей. В одно мгновение произойдет реакция, в результате которой образуется медь, вода и азот. Если опыт повторять несколько раз, то нашатырный спирт в пробирке окрасится в синий цвет. Одновременно с этой реакцией идет и другая, так называемая реакция комплексообразования — образуется то самое комплексное соединение меди, которое ранее позволило нам безошибочно определить аммиак по синему окрашиванию реакционной смеси.

Между прочим, способностью соединений меди вступать в реакцию с нашатырным спиртом пользуются с очень давних времен (еще с тех времен, когда науки химии не было и в помине). Раствором аммиака, т. е. нашатырным спиртом, очищали до блеска медные и латунные предметы. Так, кстати, опытные хозяйки поступают и сейчас; для большего эффекта нашатырный спирт смешивают с мелом, который механически оттирает грязь и адсорбирует загрязнения из раствора.

Следующий опыт. Насыпьте в пробирку немного нашатыря—хлорида аммония NH_4Cl, которым пользуются при пайке (не путайте его с нашатырным спиртом NH_4OH, который представляет собой водный раствор аммиака). Раскаленной медной спиралькой коснитесь слоя вещества, покрывающего дно пробирки. Снова раздастся шипенье, и вверх взовьется белый дым — это улетучиваются частицы нашатыря, А спиралька вновь засверкает первозданным медным блеском. Произошла реакция, в результате которой образовались те же продукты, что и в прошлом опыте, и впридачу хлорид меди $CuCl_2$.

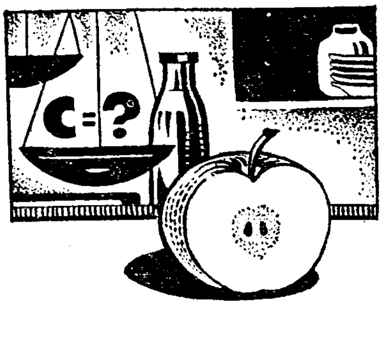
Именно из-за этой способности — восстанавливать металлическую медь из оксида — нашатырь и применяют при паянии. Паяльник обычно изготовлен из меди, которая хорошо проводит тепло; когда его «жало» окисляется, медь теряет способность удерживать на своей поверхности оловянный припой. Немного нашатыря — и оксида как не бывало.

И последний опыт с медной спиралькой. Налейте в пробирку немного одеколона (еще лучше — чистого спирта) и вновь внесите раскаленную медную проволоку. Результат опыта вы, по всей вероятности, уже представляете: проволока вновь очистилась от пленки оксида. На этот раз произошла сложная органическая реакция: медь восстановилась, а этиловый спирт, содержащийся в одеколоне, окислился до уксусного альдегида. Эта реакция в быту никак не используется, но иногда ее применяют в лаборатории, когда из спирта нужно получить альдегид.

Вот и все наши первые, вводные опыты. Теперь, когда вы, что называется, набили руку в эксперименте, а если вы ставите опыты дома, то создали, наверное, некоторый запас посуды и доступных реактивов, пора заняться опытами посерьезнее. Давайте заглянем в кухонный шкаф....

3

ЗАГЛЯНЕМ В КУХОННЫЙ ШКАФ



Как только человек начал готовить себе пищу, так он, пусть и неосознанно, стал химиком. На сковородах и в жаровнях, в бочках и глиняных сосудах шли сложнейшие химические и биохимические процессы. Между прочим, не все

они получили полное объяснение и сегодня, что, впрочем, не мешает людям варить, печь, солить и мариновать. Однако многое уже хорошо изучено. И кое-что — конечно, не самое сложное — можно воспроизвести даже в домашней лаборатории.

У опытов, помещенных в этом разделе, есть по меньшей мере одно неоспоримое достоинство: нужные вещества (точнее,— продукты) найдутся в кухонном шкафу или в холодильнике. Или же их можно купить в продовольственном магазине. Вам понадобятся небольшие количества веществ, но если вы купите того или иного продукта больше, чем требуется для опыта, остальное не пропадет.

Самая важная составная часть пищи — белок, основа всего живого, строительный материал всякого организма. Тысячи исследователей во всем мире работают с белком, изучают его свойства. Конечно, в наших опытах мы не откроем ничего нового. Но, говорят, лиха беда начало...

ОПЫТЫ С БЕЛКОМ

Первый опыт—качественная реакция на белок, т. е. такая реакция, которая позволит нам уверенно судить - белок перед нами или нет. Таких реакций несколько. Ту, которую мы проведем, называют биуретовой. Для нее нам потребуются растворы стиральной соды (или едкого натра) и медного купороса.

Приготовьте несколько растворов, которые, как можно предположить, содержат белок. Пусть это будет мясной или рыбный бульон (желательно процеженный через марлю), отвар каких-либо овощей или грибов и др. Растворы налейте в пробирки примерно наполовину. Затем прибавьте немного раствора щелочи — едкого натра или стиральной соды (раствор соды желательно прокипятить и остудить). Наконец, добавьте голубого раствора медного купороса. Если в испытуемом отваре действительно есть белок, то окраска сразу станет фиолетовой. Про такие реакции говорят, что они характерные. Они идут только в том случае, если в растворе действительно есть белок. Для контроля поставьте опыт с лимонадом или с минеральной водой.

Всем известно, что при нагревании белок свертывается и переходит в нерастворимую форму — сырое яйцо становится крутым. Это явление называют денатурацией белка. Каждая хозяйка знает: чтобы приготовить вкусный бульон, надо нарезанное мясо положить в холодную воду. А когда хотят приготовить отварное мясо, то большие куски опускают в кипяток. Есть ли в этом химический смысл? Попробуем разобраться.

Налейте и пробирку холодной воды, опустите в нее немного сырого рубленого мяса и нагрейте. По мере нагревания образуются (и в большом количестве) серые хлопья. Это свернувшийся белок, пена, которую снимают шумовкой, чтобы не портила вид и вкус бульона. При дальнейшем нагревании растворимые в воде вещества постепенно переходят из мяса в раствор. Эти вещества называют экстрактивными, потому что они извлекаются из мяса при его экстракции кипящей водой (проще говоря, при варке бульона). Они-то, в первую очередь, и придают бульону характерный вкус. А мясо, лишившись этих веществ, становится менее вкусным.

В другой пробирке воду вскипятите заранее и положите сырое мясо уже в кипяток. Как только мясо соприкоснется с водой, оно моментально станет серым, зато хлопьев образуется очень мало. Тот белок, что находился на поверхности, под действием высокой температуры сразу свернулся и закупорил многочисленные поры, которые пронизывают мясо. Экстрактивные вещества, и белки в том числе, уже не могут перейти в раствор. Значит, они остаются внутри мяса, придавая ему хороший вкус и аромат. А бульон, разумеется, получается несколько хуже.

Белок денатурируется, свертывается не только при нагревании. Налейте в пробирку чуть-чуть свежего молока и капните одну-две капли уксуса или раствора лимонной кислоты. Молоко тут же скиснет, образуя белые хлопья. Это свертывается молочный белок. Кстати, без такой реакции не приготовить творога, и не случайно творог так полезен—в него переходит почти весь молочный белок.

Когда молоко оставляют в теплом месте, то его белок тоже свертывается, но уже по

иной причине— это работают молочнокислые бактерии. Их известно очень много, и все они вырабатывают молочную кислоту, даже если питаются не молоком, а, скажем, соком капусты. Профильтруйте немного скисшего молока и прибавьте к сыворотке несколько капель какого-нибудь самодельного индикатора. Цвет индикатора покажет, что в растворе есть кислота. Эта кислота — молочная, ее же можно обнаружить и в капустном, и в огуречном рассоле,

В состав некоторых белковых молекул входит, помимо углерода, водорода, кислорода и азота, еще и сера. В этом можно убедиться на опыте. Немного яичного белка поместите в пробирку с раствором едкого натра или стиральной соды и, нагрев пробирку, добавьте в нее немного раствора основного ацетата свинца $Pb(CH_3COO)_2*3H_2O$—свинцовой примочки, которая продается в аптеках. Если содержимое пробирки почернеет, значит, сера есть: это образуется сульфид свинца PbS, вещество черного цвета.

И в заключение приготовим настоящий белковый клей — казеиновый, которым пользуются по сей день, несмотря на обилие синтетических клеев. Казеин — это основа творога, а если так, то клей мы будем делать из молока, точнее, из его белковых веществ,

Отфильтруйте простоквашу от сыворотки. То, что осталось на фильтре, несколько раз промойте водой, чтобы удалить растворимые примеси, и высушите. Потом промойте полученную массу бензином и высушите вновь; это нужно для того, чтобы избавиться от молочного жира (он растворяется в бензине). Когда масса станет совсем сухой, измельчите ее в ступке — получится порошок казеина.

Сделать из него клей совсем просто — смешать порошок с нашатырным спиртом и водой в отношении 1 : 1 : 3. Конечно, вы захотите испытать клей. Попробуйте склеить им какие-нибудь деревянные или керамические предметы, потому что для этих материалов казеиновый клей особенно хорош.

ОПЫТЫ С УГЛЕВОДАМИ

Углеводы — один из «трех китов» нашего питания (два других—белки и жиры). Глюкоза и фруктоза, крахмал и клетчатка, десятки других углеводов образуются непрерывно и «сгорают» (окисляются) в растительных и животных клетках, служат важнейшим энергетическим материалом организма.

При всей несхожести отдельных представителей углеводов есть у них, конечно, общие, обязательные для всех свойства. Это и позволяет обнаружить углеводы даже в очень малых количествах. Верный и к тому же красивый способ их распознавания — цветная реакция Молиша.

Налейте в пробирку примерно 1 мл воды и бросьте несколько крупинок сахарного песка (сахарозы), часть таблетки глюкозы или клочок фильтровальной бумаги (клетчатки). Теперь добавьте 2—3 капли спиртового раствора резорцина или тимола (эти вещества продают в аптеке). Наклоните пробирку и осторожно налейте по стенке 1—2 мл концентрированной серной кислоты. Будьте осторожны с кислотой, следите, чтобы она не попала на кожу! Закрепите пробирку в вертикальном положении. Тяжелая кислота опустится на дно, а на границе ее с водой появится яркое красивое кольцо — красное, розовое или фиолетовое.

Если вещество, состав которого неизвестен, даст при реакции Мелиша такое кольцо — можете не сомневаться, что углевод налицо. Помните только, что эта реакция настолько чувствительна, что ее может вызвать даже пылинка и волоконце на стенках пробирки. Поэтому посуду, в которой проводят реакцию, надо очень тщательно мыть, а ополаскивать лучше дистиллированной водой.

Теперь, научившись распознавать углеводы, перейдем к крахмалу, одному из самых известных углеводов. Для начала поучимся правильно готовить крахмальный клейстер, коллоидный раствор крахмала в воде. Налейте в кастрюлю немного холодной воды и добавьте крахмал, из расчета примерно две чайные ложки на стакан (учитывая и ту воду, которую вы добавите позже). Смесь хорошо размешайте — получится так называемое крахмальное молоко. При перемешивании добавьте к нему кипяток и, продолжая

размешивать, нагревайте на огне до тех пор, пока раствор не станет прозрачным. Остудите его. Это и есть крахмальный клейстер, который так хорошо склеивает бумагу; поэтому его часто применяют, например, для приклеивания обоев.

Вы уже знаете, что в присутствии свободного йода крахмал синеет. Это его свойство нам еще пригодится; заметьте только, что раствор йода должен быть очень слабым. Кстати, пользуясь таким раствором (а чтобы приготовить его, достаточно разбавить аптечный раствор водой), можно исследовать на содержание крахмала различные пищевые продукты.

Заготовив пробирку со слабым раствором йода, понаблюдаем за превращениями крахмала. Попробуем сделать из крахмального клейстера глюкозу.

Огромные молекулы крахмала под действием воды гидролизуются, расщепляются на более мелкие молекулы. Сначала образуется растворимый крахмал, потом «обрубки» помельче — декстрины, затем дисахарид, но не всем привычная сахароза, а другой — мальтоза, или солодовый сахар. Наконец, при распаде мальтозы образуется глюкоза, виноградный сахар. Готовый продукт гидролиза часто содержит все переходные вещества; в таком виде он известен под названием патоки.

К половине стакана крахмального клейстера добавьте 1—2 чайные ложки разбавленной, примерно 10 %-ной серной кислоты. Не забудьте: при разбавлении серной кислоты обязательно нужно лить кислоту в воду, а не наоборот!

Смесь клейстера с кислотой поставьте кипятиться в кастрюльке, понемногу доливая воду по мере ее испарения. Время от времени берите ложкой пробы жидкости и, слегка охладив, капайте на них разбавленным йодным раствором. Крахмал, как вы помните, дает синее окрашивание, а вот декстрины — красно-бурое. Что касается мальтозы и глюкозы, то они вовсе не окрашиваются. По мере гидролиза цвет проб будет меняться, а когда окрашивание йодом исчезнет, нагревание можно прекратить. Впрочем, для более полного разложения мальтозы имеет смысл прокипятить смесь еще несколько минут.

После кипячения жидкость надо немного охладить и постепенно добавлять в нее при перемешивании около 10 г порошка мела, чтобы полностью нейтрализовать серную кислоту. Смесь при этом будет вспениваться, потому что во время реакции кислоты с мелом выделяется углекислый газ. Как только вспенивание прекратится, поставьте полученную желтоватую жидкость на слабый огонь, чтобы она упарилась примерно на две трети, затем еще горячей профильтруйте ее через несколько слоев марли, после чего упарьте жидкость еще раз, но теперь более аккуратно, уже не на открытом огне, а на водяной бане (смесь легко пригорает). У вас получится густая сладкая патока, основу которой составляет глюкоза. Примерно так же патоку получают в больших количествах на крахмалопаточных заводах.

Глюкоза человеку необходима, она — один из главных поставщиков энергии. Но в хлебе, в картошке, в макаронах содержится преимущественно крахмал, а в организме он превращается в глюкозу под действием ферментов.

В нашем опыте серная кислота в процессе реакции не расходовалась. Она играла роль катализатора, т. е. вещества, резко ускоряющего ход реакции. Каталитическое действие природных ферментов намного сильнее, оно более целенаправленно. Ферментов очень много, и у каждого из них свой, узкий участок работы. Например, содержащийся в слюне фермент амилаза может превращать полисахарид крахмал в дисахарид мальтозу. Проследим на опыте за действием этого фермента.

Дистиллированной водой (а если ее нет, то кипяченой) с минуту прополощите рот — получится раствор слюны. Этот раствор профильтруйте и смешайте с равным количеством крахмального клейстера. Пробирку со смесью поставьте в стакан с теплой, около 40 °С, водой. Время от времени берите пробы с йодом — изменение окраски будет точно таким же, как при гидролизе с серной кислотой, но реакция пойдет быстрее. Не позже чем через четверть часа крахмал гидролизуется до мальтозы, и цветная реакция с йодом исчезнет.

Есть и совсем уж простой опыт: попробуйте долго разжевывать кусочек белого хлеба. Вы заметите, что вкус его становится сладковатым. Это работает фермент амилаза, превращая в мальтозу крахмал, содержащийся в хлебе.

САХАР ИЗ ОПИЛОК

Свое название углеводы получили по ошибке. Произошло это в середине прошлого века. Тогда считали, что молекула любого сахаристого веществу отвечает формуле $C_m(H_2O)_n$. Все известные тогда углеводы подходили под эту мерку, и формулу глюкозы $C_6H_{12}O_6$ писали как $C_6(H_2O)_6$.

Но позднее были открыты и такие сахара, которые оказались исключением из правила. Так, явный представитель углеводов рамноза (она тоже дает реакцию Молиша) имеет формулу $C_6H_{12}O_5$. И хотя неточность в названии целого класса соединений была очевидной, термин «углеводы» стал уже настолько привычным, что его не стали менять. Впрочем, в наши дни многие химики предпочитают иное название — «сахара».

Один из сахаров мы попытаемся получить из опилок гидролизом, т. е. разложением водой. Это очень распространенный химический процесс. Опилки и другие древесные отходы содержат углевод клетчатку (целлюлозу). Из нее на гидролизных заводах готовят глюкозу, которую можно использовать затем по-разному; чаще всего ее сбраживают, превращая в спирт, исходный продукт для множества химических синтезов. Большая и самостоятельная отрасль химической индустрии носит название гидролизной промышленности,

Прежде чем воспроизвести процесс гидролиза древесины, попытаемся понять, в чем его суть, а для этого удобнее будет начать не с опилок, а с огурцов и лучинок.

Вымойте свежий огурец, натрите его на терке и выжмите сок. Сок можно отфильтровать, но это не обязательно.

Приготовьте в пробирке гидроксид меди $Cu(OH)_2$. Для этого добавьте 2—3 капли раствора медного купороса к 0,5—1 мл раствора едкого натра. К полученному осадку прибавьте равный объем огуречного сока и встряхните пробирку. Осадок растворится, получится синий раствор. Такая реакция характерна для многоатомных спиртов, т. е. для спиртов, которые содержат несколько гидроксильных групп.

Теперь нагрейте до кипения (или поставьте в кипящую воду) пробирку с полученным синим раствором. Он сначала пожелтеет, затем станет оранжевым, а после охлаждения выпадет красный осадок оксида меди Cu_2O. Эта реакция характерна для другого класса органических соединений — для альдегидов. Значит, в огуречном соке есть вещество, представляющее собой альдегид и спирт одновременно. Это вещество и есть глюкоза, которая по строению представляет собой альдегидоспирт. Благодаря ей у огурца сладковатый вкус.

Вы, наверное, догадываетесь, что этот опыт совсем не обязательно ставить именно с соком огурца, Он хорошо получается и с другими сладкими соками—виноградным, морковным, яблочным, грушевым, Можно взять для опыта и туалетную огуречную воду, которая продается в парфюмерных магазинах. И, конечно, просто таблетки глюкозы.

Теперь второй предварительный опыт; осахаривание лучинки.

Приготовьте раствор серной кислоты: к одному объему воды прилейте один объем концентрированной серной кислоты (ни в коем случае не лить воду в кислоту!). В пробирку с раствором опустите лучинку и нагрейте раствор до кипения. Лучинка при этом обуглится, но опыту это не помешает.

После нагревания выньте лучинку, опустите ее в другую пробирку с 1—2 мл воды и прокипятите. В обеих пробирках теперь есть глюкоза. Проверить это можно, добавив к растворам две-три капли медного купороса, а затем и едкий натр — появится знакомая синяя окраска. Если же этот раствор прокипятить, выпадет, как мы и ожидали, красный осадок оксида меди Cu_2O. Итак, глюкоза обнаружена.

То, что наша лучинка осахарилась, и есть результат гидролиза целлюлозы (а на ее долю в древесине приходится около 50 %). Как и при гидролизе крахмала, серная кислота в этом процессе не расходуется, она играет роль катализатора.

Наконец, мы подошли к основному опыту, который был обещан в заглавии: получение сахара из опилок.

В фарфоровую чашку насыпьте 2—3 столовые ложки древесных опилок и смочите их водой. Добавьте еще немного воды и равное количество ранее приготовленного раствора серной кислоты (1:1), жидкую кашицу хорошо перемешайте. Закройте крышкой и поставьте в духовку газовой плиты (или в русскую печь) примерно на час, можно немного меньше.

Затем выньте чашку, долейте воды доверху и перемешайте. Отфильтруйте раствор и нейтрализуйте фильтрат, добавляя к нему толченый мел или известковую воду до тех пор, пока не прекратится выделение пузырьков углекислого газа. Об окончании нейтрализации можно также судить, испытывая жидкость лакмусовой бумажкой или же одним из самодельных индикаторов. Не надо капать индикатор прямо в реакционную массу. Следует взять пробу, буквально 2—3 капли, и поместить ее на стеклянную пластинку или в маленькую пробирку.

Содержимое чашки слейте в молочную бутылку, взболтайте жидкость и дайте постоять несколько часов. Сульфат кальция, образовавшийся при нейтрализации кислоты, осядет на дно, а сверху останется раствор глюкозы. Осторожно слейте его в чистую чашку (лучше по стеклянной палочке) и отфильтруйте.

Осталась последняя операция — выпаривание воды на водяной бане. После нее на дне остаются светло-желтые кристаллы глюкозы. Их можно попробовать на вкус, но и только — продукт недостаточно чистый.

Итак, мы выполнили четыре операции: варку опилок с раствором серной кислоты, нейтрализацию кислоты, фильтрование и выпаривание. Именно так и получают глюкозу на гидролизных заводах, только, конечно, не в фарфоровых чашках...

И еще один промышленный процесс мы можем воспроизвести без особых затруднений: превратим один сахар в два других.

При долгом хранении домашнее варенье часто засахаривается. Это происходит потому, что сахар кристаллизуется из сиропа. С вареньем же, которое продается в магазине, такая беда случается гораздо реже. Дело в том, что на консервных заводах, кроме свекловичного или тростникового сахара сахарозы $C_{12}H_{22}O_{11}$, используют и другие сахаристые вещества, например инвертный сахар. Что такое инверсия сахара и к чему она приводит, вы узнаете из следующего опыта.

Налейте в пробирку или в стакан 10—20 г слабого сахарного раствора и добавьте несколько капель разбавленной соляной кислоты. После этого нагревайте раствор на кипящей водяной бане минут десять-пятнадцать, а затем нейтрализуйте кислоту, лучше всего карбонатом магния $MgCO_3$. В аптеках продают так называемую белую магнезию, вещество несколько более сложного состава; она тоже годится. В крайнем случае можно взять и питьевую соду $NaHCO_3$, но тогда в растворе останется поваренная соль, которая с сахаром как-то не гармонирует...

Когда прекратится выделение пузырьков диоксида углерода, дайте жидкости отстояться. На всякий случай проверьте индикатором, полностью ли нейтрализовалась кислота. Слейте отстоявшуюся жидкость и попробуйте ее на вкус: она покажется вам менее сладкой, чем исходный раствор (для сравнения оставьте немного первоначального раствора сахара).

В готовом растворе практически не осталось сахарозы, зато появились два новых вещества — глюкоза и фруктоза. Этот процесс и называется инверсией сахара, а полученная смесь — инвертным сахаром.

И вот что любопытно: внешне реакцию ничем не обнаружить. И цвет, и объем, и реакция среды остаются прежними. Не выделяются ни газы, ни осадки. И тем не менее реакция идет, только для ее обнаружения нужны оптические приборы. Сахара — оптически активные вещества: луч поляризованного света, проходя через их раствор, изменяет направление поляризации. Говорят, что сахара вращают плоскость поляризации, причем в ту или иную сторону, и на вполне определенный угол. Так вот, сахароза вращает плоскость поляризации вправо, а глюкоза и фруктоза, продукты ее гидролиза,— влево. Отсюда и слово «инверсия» (по-латыни «переворачивание»).

Но, поскольку оптических приборов в нашем распоряжении нет, попробуем удостовериться химическим путем в том, что взятый сахар и в самом деле претерпел изменения. К исходному и полученному растворам сахаров добавьте несколько капель раствора метиленового синего (можно взять синие чернила для авторучек) и немного слабого раствора любой щелочи. Нагрейте исследуемые растворы на водяной бане. В пробирке с обычным сахаром никаких изменений не произойдет, а вот содержимое пробирки с инвертным сахаром станет почти бесцветным.

Инвертный сахар гораздо меньше, чем обычный, склонен к кристаллизации. Если осторожно выпарить на водяной бане его раствор, то получится густой сироп, внешне немного напоминающий мед. После охлаждения он не кристаллизуется.

Кстати, любимый всеми пчелиный мед на три четверти состоит из тех же углеводов, что и инвертный сахар,— из глюкозы и фруктозы. Искусственный мед также делают на основе инвертного сахара. Конечно, наш сироп от меда отличается, и значительно — главным образом, отсутствием запаха. Но если к нему добавить немного натурального меда, то этот недостаток можно отчасти устранить.

Но почему бы не наготовить дома побольше некристаллизующегося сиропа, чтобы варить на нем варенье? Увы, полная его очистка от посторонних веществ затруднительна, и нет гарантии, что ее удастся довести до конца. Во всяком случае, рисковать не стоит.

ЧАШКА ЧАЯ

После сахарного сиропа, варенья и меда, которыми мы занимались в предыдущих главах, естественно будет перейти к чаю. Выделим из чая вещество, которое подымает жизненный тонус и бодрит. Речь идет о кофеине (это вещество сначала было найдено в кофейных зернах, там его еще больше, чем в чайных листьях).

Строго говоря, в чае есть несколько тонизирующих веществ — витамины, эфирные масла и т. д. Но ведущая роль принадлежит кофеину, из класса алкалоидов (это обширный класс азотсодержащих органических соединений; в него входят также никотин из табака, папаверин из мака и т. д.).

Для опыта потребуется фарфоровый или металлический тигель (можно использовать любой подходящий металлический сосуд, желательно не плоский, а высокий, вроде стакана). В него положите измельченный в ступке черный чай — около чайной ложки — и примерно 2 г оксида магния. Это вещество продают в аптеках, обычно под названиями «жженая магнезия», «окись магния». Смешайте оба вещества и поставьте тигель на огонь. Нагрев должен быть умеренным, не слишком энергичным. Сверху на тигель или стакан поставьте фарфоровую чашку или другой подобный сосуд, например розетку для варенья, и налейте в нее холодной воды. В присутствии оксида магния кофеин будет возгоняться, т. е. превращаться в пар, минуя стадию жидкости. Попадая на холодную поверхность, кофеин вновь вернется в твердое состояние и осядет на дне чашки или розетки в виде бесцветных кристаллов. Прекратите нагрев, осторожно снимите чашку с тигля и соскребите кристаллы в чистую склянку.

А как убедиться в том, что перед вами действительно кофеин? Для этого есть красивая качественная реакция. Несколько кристаллов положите на фарфоровую пли керамическую пластинку (сгодится осколок от кафельной плитки) и капните одну-две капли концентрированной азотной кислоты. (С концентрированными кислотами надо обращаться предельно осторожно!) Нагревайте пластинку до тех пор, пока смесь на ней не станет сухой. Кофеин при этом окислится и превратится в заметную, оранжевого цвета, амалиновую кислоту.

Но это не все. Попробуем нейтрализовать кислоту, добавив к ней капель десять концентрированного раствора аммиака (не аптечного, а такого, который продается в хозяйственных магазинах). При нейтрализации образуется соль очень красивого, красного, переходящего в пурпурный, цвета. Такая соль носит название мурексида, а реакция— мурексидной.

Дальнейшие опыты с чаем лучше ставить в химическом кружке: они требуют и

хороших навыков, и таких веществ, которых дома обычно не бывает. Мы будем выделять из чая дубильные вещества — таниды, а из них получим танин, смесь веществ, используемых для дубления кож (отсюда и название — дубильные вещества), протравливания тканей перед крашением, в медицине — как вяжущее средство; вспомните вяжущий вкус крепкого чая. (Заметим, что для промышленных целей есть другие, несъедобные источники танина — чернильные орешки, или галлы, сумах и т. д.).

Итак, мы попытаемся извлечь танин из зеленого чая. При отсутствии зеленого можно взять и черный чай, но в нем танидов существенно меньше.

Маленькую пачку зеленого чая (50 г) залейте в кастрюльке половиной стакана (100 г) кипятка и кипятите на небольшом огне около часа, чтобы как можно полнее экстрагировать растворимые вещества. Раствор отфильтруйте через несколько слоев марли или через хлопчатобумажную ткань, сложенную вдвое; осадок на фильтре промойте дополнительно горячей водой (полстакана). Вы получите около стакана желто-зеленого раствора.

Внесите в жидкость 15—20 г ацетата свинца или соответствующее количество свинцовой примочки. Имейте в виду, что ацетат свинца не должен попадать в рот: он может вызвать отравление. Аккуратно слейте жидкость, к осадку добавьте стакан горячей воды, размешайте, дайте отстояться и слейте вновь. Повторите эту операцию 3—4 раза, чтобы удалить ионы свинца. Проверьте, действительно ли они удалены, взяв пробу жидкости и добавив к ней в пробирке несколько капель разбавленной серной кислоты. Если свинец остался, раствор помутнеет; в этом случае нужно повторить промывку. Когда проба будет отрицательной, отфильтруйте осадок (это — таннат свинца) через стекловату и на фильтре промойте 50 мл примерно 1 %-ного раствора серной кислоты. Собрав раствор, нейтрализуйте кислоту, добавляя по каплям 0,5 %-ный раствор гидроксида бария, после чего отфильтруйте выпавший осадок сульфата бария.

Оставшийся прозрачный раствор содержит чайный танин. Упарьте его досуха на водяной бане. Оставшийся на дне танин соскребите и измельчите в порошок.

Вот несколько красивых реакций с танином (поскольку у нас его немного, грамма три, будем расходовать его осмотрительно).

Примерно 0,5 г танина растворите в 40 мл воды. Как только вы добавите раствор хлорида железа (III) или другой соли трехвалентного железа, жидкость сразу почернеет. Это — старинные чернила, только танин для них добывали из дубовых (чернильных) орешков, наростов на листьях и молодых побегах дуба.

Еще один яркий опыт: около 0,3 г танина положите в маленькую пробирку и капните три капли концентрированной соляной кислоты. Образуется флобафен — вещество красного цвета.

Далее добавьте немного танина к раствору нитрата серебра $AgNO_3$ (ляписа); годится и ляписный карандаш из аптеки. На этот раз выпадет осадок танната серебра. У него бурый цвет.

И последний опыт с танином. В 2 %-ном растворе соляной кислоты растворите около 0,3 г ванилина (или соответственное количество ванильного сахара) и добавьте втрое меньше танина. Малиновое окрашивание не замедлит появиться. Это характерная реакция не только на танин, но и вообще на вещества из класса катехинов, к которым принадлежат многие дубильные вещества.

КОСТИ—В ДЕЛО!

У хорошей хозяйки кости не пропадают — из них можно сварить бульон, да к тому же очень крепкий, Если же кости варить долго, а потом отвар остудить, то получится студень. Между прочим, студень—понятие не только кулинарное, но и химическое. Обширная группа коллоидных систем названа студнями в честь первого своего представителя — мясного студня.

Студень из костей образуется благодаря тому, что в костях содержится особое белковое вещество - желатина. Она, кстати, продается в продовольственных магазинах в хорошо очищенном виде. И техническая, с примесями, желатина тоже продается в

магазинах, но не в продовольственных, а в хозяйственных, и носит название столярного или животного клея. Его-то и приготовим из костей. Пищевую желатину нам, к сожалению, вряд ли удастся приготовить, ее очистка слишком сложна.

Немного сырых костей заверните в тряпку и разбейте их молотком, чтобы получились костяные крошки. Эти крошки надо обязательно освободить от жира. Жир, как вы знаете, хорошо растворяется в бензине (не забудьте, что бензин огнеопасен!). Залейте костяные крошки бензином, перемешайте и оставьте на полчаса. Потом слейте бензин и несколько раз промойте кости горячей водой.

Теперь приготовим из обезжиренных костей отвар. Для этого необязательно брать кастрюлю, годится и пустая хорошо отмытая консервная банка. Варить кости в воде надо долго, а потом придется еще уваривать отвар на небольшом огне до тех пор, пока он не станет густым и вязким.

Теперь наберитесь терпения. Поставьте отвар в сухое и теплое место и время от времени поглядывайте на него. Через несколько дней отвар высохнет и превратится в коричневый столярный клей. Хотя внешне он и кажется сухим, однако содержит немало связанной воды, которую желатина поглотила при варке. Потом, когда вы решите воспользоваться клеем и нагреете его на водяной бане, часть связанной воды выделится, и клей будет набухать.

Таким клеем вполне можно склеивать различные деревянные предметы. А вот для наших дальнейших опытов он недостаточно чист. Их лучше ставить с готовой желатиной, из магазина.

Чтобы приготовить раствор желатины, положите 10 г порошка в четверть стакана холодной воды и дайте ему как следует размокнуть и набухнуть; на это уйдет не менее часа. Затем нагрейте смесь примерно до 50 °С и, помешивая, подождите, пока желатина не растворится полностью. Часть раствора вылейте тонким слоем на полиэтиленовую пленку (не на стекло — от него вы потом желатину не оторвете) и хорошо высушите на воздухе. У вас получится тонкий желатиновый листок, из которого для пущего эффекта можно вырезать силуэт рыбки. Положите эту рыбку на промокательную бумагу и осторожно подышите на нее. Рыбка начнет извиваться и свертываться. Ваше дыхание увлажняет листок с одной стороны, он увеличивается в объеме и стремится изогнуться.

У набухшей желатины есть и такое интересное свойство: она позволяет получить и надолго сохранить красивый ледяной узор. Приготовьте раствор так же, как в предыдущем опыте, только желатины возьмите в два-три раза меньше (или разбавьте остатки прежнего раствора теплой водой). Теплый еще раствор вылейте на стеклянную пластинку и сразу же поставьте ее либо на холод (зимой), либо в морозильник, в самое холодное его место. Вода будет выкристаллизовываться в виде ледяного узора, как зимой на окнах. Если оставить желатиновый студень на морозе на несколько дней, лед постепенно испарится. Дайте желатине медленно оттаять — и она сохранит отпечаток ледяных кристаллов.

Перейдем теперь к приготовлению минеральных удобрений. Ведь основа большинства костей — фосфорит (а зубных костей — апатит). На заводе из минералов фосфорита и апатита готовят фосфорные удобрения. Попробуем превратить кости в простой суперфосфат.

Кости сначала как следует прокалите на огне, чтобы выгорели органические соединения—они нам будут только помехой. После прокаливания останется фосфат кальция $Ca_3(PO_4)_2$ — фосфорит. Несколько чистых белых кусков прокаленной кости отделите и измельчите в порошок — сначала с помощью молотка, а потом растиранием в ступке. Смешайте 50 г этого порошка с 3—5 г мела, поместите смесь в чистую склянку и влейте в нее 20 г 70 %-ной серной кислоты; еще раз напоминаем: при разбавлении лить кислоту в воду! Кислоту к смеси костей и мела надо прибавлять постепенно, все время энергично перемешивая стеклянной палочкой. Смесь быстро разогреется, превратится в пасту, а затем в сухой белый порошок—суперфосфат $Ca(H_2PO_4)_2$. На его образование уйдет около часа.

Но почему же фосфорит сам по себе нечасто применяют как удобрение, а

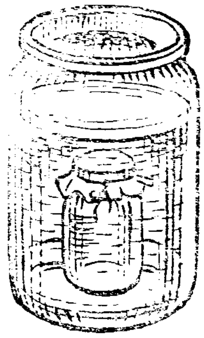
предпочитают ему суперфосфат? Чтобы понять это, проделаем еще один опыт.

Возьмите две склянки с водой и поместите в одну немного измельченной кости (фосфорита), а в другую — уже полученного суперфосфата. Порошок фосфорита быстро осядет на дно, и его первоначальный объем не изменится. Суперфосфат же подвергается гидролизу, намного увеличивается в объеме и оседает не сразу, а медленно, в течение нескольких часов. Это свойство помогает суперфосфату хорошо распределяться в почве и долго в ней удерживаться.

Уж если вы получили самодельное удобрение, надо бы, видимо, разумно им воспользоваться. Попробуйте употребить его для подкормки комнатных растений и последите за их ростом; не забудьте только оставить контрольные образцы растений для сравнения. А еще можно подкармливать другую группу контрольных растений готовыми удобрениями, фабричного производства. Интересно, намного ли они лучше самодельных?

ОТЧЕГО ЯГОДЫ ПУСКАЮТ СОК

Когда растение засыхает, когда листья его желтеют, это означает, что растительным клеткам не хватает воды. Но каждая клетка заключена в оболочку-мембрану. Каким образом впитанная корнями влага проникает через оболочку в клетку? И что заставляет воду двигаться против силы тяжести, снизу вверх, от корней к листьям?



Прежде чем получить ответы на эти вопросы, поставим предварительные опыты с мембраной, чем-то напоминающей клеточную оболочку.

Если два раствора разделены плотной перегородкой, то они, конечно, не смешиваются. Если же перегородки нет вовсе, то растворы, напротив, смешиваются сами по себе, даже если их не перемешивать. Ну, а что если перегородка полупроницаемая?

Вот это и будет предметом опыта, а полупроницаемой мембраной послужит листок пергамента или целлофана (но не полиэтилена). Чтобы он приобрел интересующие нас свойства, его надо подержать в воде, пока он не размягчится.

Приготовьте сахарный сироп — насыщенный раствор сахара, настолько густой, что сахар больше не растворяется. Быстрее и удобнее готовить такой раствор в горячей воде. Налейте сироп доверху в стакан, прикройте размоченным листком и туго перевяжите. Следите, чтобы под пленкой не осталось пузырьков воздуха. Стакан поставьте в банку или в кастрюлю с водой (вода должна покрывать стакан) и оставьте на несколько часов. Когда вы вновь посмотрите на стакан с сиропом, то сразу заметите, что пленка, которой он закрыт, раздулась: над стаканом как бы образовался пузырь.

Чтобы понять, что произошло, надо прежде всего уяснить себе, что такое полупроницаемая мембрана. Это такая пленка, которая задерживает одни молекулы и в то же время пропускает другие. И целлофановая, и пергаментная пленки пористы, но поры в них настолько малы, что для молекул сахара они непроницаемы. По обе стороны нашей перегородки есть вода, но с той стороны, где находится раствор сахара, на каждый участок поверхности приходится меньше молекул воды. Поэтому со стороны воды через мембрану проходит больше молекул, и это приводит к тому, что объем жидкости в стакане увеличивается и, следовательно, полупроницаемая пленка раздувается. В природе все стремится к равновесию, в данном случае — к выравниванию концентрации растворов. И вскоре равновесие наступает: сколько молекул воды поступает в стакан с сиропом, столько же из него и выходит в наружный сосуд. Поэтому пузырь получается не слишком большим.

Физико-химическое явление, которое мы только что наблюдали, называется осмосом, а давление, заставляющее пленку изгибаться, — осмотическим давлением. Чтобы наблюдать осмос, обязательно нужны перегородка и две жидкости: раствор какого-либо вещества и чистый растворитель (у нас — вода) или хотя бы более слабый раствор.

Оболочка живых клеток — всегда полупроницаемая мембрана. Она задерживает молекулы многих веществ, растворенных в воде, но воду пропускает. Поэтому каждая животная и растительная клетка — это микроскопическая осмотическая система, а

осмотическое давление играет очень важную роль в жизнедеятельности организмов.

Осмос можно наблюдать в самых простых опытах. Острым ножом отрежьте тонкий ломтик лимона и положите его на блюдце. Заметьте: сока на поверхности почти нет. Посыпьте дольку сахарным песком или, еще лучше, сахарной пудрой — и очень скоро лимон пустит сок.

Подобный опыт можно поставить и с клубникой, и с другими ягодами, положив их в сухие баночки. Ягоды, посыпанные сахаром, быстро выделяют сок.

Во всех этих случаях работает осмос. На поверхности лимона или ягод образуется концентрированный раствор сахара, и сок, гораздо менее концентрированный, стремится разбавить этот раствор, он проникает сквозь клеточные мембраны и выходит наружу — точно так же, как в предыдущем опыте вода из банки устремлялась в стакан с сиропом.

Следующий наш объект — капуста. Ее мы, естественно, будем посыпать не сахаром, а солью. Нашинкуйте капусту ножом, посыпьте солью и хорошенько потрите — капуста тоже даст сок. Так и происходит, когда капусту квасят; а капустные салаты непременно советуют потереть как следует, чтобы выделился сок и капуста стала мягче и нежнее. Причина та же: осмос.

Перейдем к картошке. Вырежьте из картофелины три кубика, желательно одинаковых размеров. Приготовьте три банки. В одну налейте подсоленную воду, в другую — концентрированный раствор соли, а в третью—просто воду из-под крана. В каждую банку опустите по картофельному кубику. Часа через два-три внимательно рассмотрите кубики. У того, который находился в подсоленной воде, никаких изменений вы не обнаружите. А вот два других изменились, и заметно. Тот кубик, который лежал в концентрированном растворе соли, намного уменьшился, а тот, который вы опустили в воду, стал, напротив, заметно больше.

Сначала о том, почему не изменился первый кубик. Он был в разбавленном растворе, и концентрация соли оказалась примерно той же, что и в самом картофельном соке. Кубик, который находился в концентрированном растворе, стал отдавать воду, снижая концентрацию этого раствора; вода из картофеля уходила, и кубик съежился. А последний кубик, тот, что был в воде, стал поглощать воду и увеличился в размерах.

От картофеля перейдем к моркови и заставим ее работать как насос.

Отрежьте от морковки ботву и в «макушку» воткните стеклянную трубку. Морковку поставьте в стакан с водой; наверное, вы без труда придумаете, как удержать морковь в вертикальном положении.

В стеклянную трубку налейте до половины раствор соли и займитесь наблюдениями. Вскоре уровень воды в трубке начнет подыматься и, если опыт поставлен правильно, вода даже выльется из трубки. Морковь как бы перекачивает воду из стакана, заставляет ее двигаться вверх.

Когда вы поливаете морковь, растущую на огороде, она примерно так же перекачивает воду из почвы в ботву. В ее соке концентрация солей выше, чем в поливочной воде, и благодаря осмосу живительную влагу получают не только корни, но и все ткани растения.

ЛЕТНИЕ ОПЫТЫ

Убедиться в существовании осмотического переноса воды, или, как иногда говорят, корневого давления, можно прямо в поле или в огороде. Найдите какое-нибудь быстрорастущее растение, желательно с крепким и достаточно широким стеблем (подсолнечник, крапива, тюльпан и т. п.) и срежьте его на высоте около 10 см над землей. На торчащий из земли стебель наденьте короткую резиновую трубку, в которую вставлена тонкая и длинная, не меньше полуметра, стеклянная трубка. Понятно, такую длинную трубку необходимо как-то закрепить; привяжите ее к колышку, вбитому рядом в землю. Для лучшего уплотнения обмотайте резиновую трубку ниткой в том месте, где она прилегает к стеблю, а можно вдобавок обмазать стык пластилином, чтобы герметизация была надежной.

Теперь займитесь поливкой, и вскоре вода начнет подыматься по трубке. Если

диаметр трубки не более 5 мм, то столб воды будет высоким.

Но осмотическое давление—не единственная причина, по которой вода в растениях движется снизу вверх. Среди других причин — транспирация, т. е. испарение воды листьями. Отдав питательные вещества растениям, вода через устьица листьев испаряется, а на ее место поступают новые порции воды из корней. Опыт с транспирацией прост. Поставьте в пробирку с водой срезанную веточку какого-нибудь растения, отметьте на пробирке уровень воды (хотя бы перевязав ее в этом месте цветной ниткой), и скоро вы заметите, как опускается уровень воды в пробирке. Но может быть, причина в том, что вода испаряется прямо из пробирки?

Чтобы исключить прямое испарение, налейте на поверхность воды чуть-чуть вазелинового или растительного масла: оно полностью закроет поверхность, препятствуя испарению. Однако уровень воды и в этом случае будет опускаться. Значит, вода испарялась через листья. Если у вас есть весы, то опыт с транспирацией можно ускорить и сделать более наглядным: пробирку с веткой (не забудьте о нескольких каплях масла на поверхности) поставьте на чашку весов и уравновесьте. Вскоре равновесие нарушится, и та чашка, на которой стоят пробирка, подымется вверх.

Подобные опыты можно поставить с разными растениями, с домашними цветами: скорость транспирации у них будет неодинаковой. Но попробуем немного видоизменить опыт: накроем ветку растения перевернутой стеклянной банкой. Можно даже не срезать для такого опыта ветку, а просто накрыть банкой какое-либо небольшое комнатное растение, например, молодую настурцию. Если растение полито как следует, то в замкнутом объеме атмосфера очень скоро насытится водяными парами, и вода не сможет больше испаряться из листьев. Транспирации заведомо нет, однако спустя некоторое время на листьях появляются капельки воды. Отчего? Опять стало работать осмотическое давление...

А еще вода подымается по стеблю благодаря тому, что растение пронизано тончайшими сосудами — капиллярами, по которым жидкость движется вверх тем быстрее, чем они тоньше. Если бы у вас был стеклянный капилляр диаметром 0,02 мм, то вода могла бы подняться по нему на три метра! А в растениях есть капилляры и потоньше...

В несколько стеклянных банок налейте воды и подкрасьте ее несколькими каплями чернил. Стебли или ветки разных растений срежьте острым ножом (предпочтительнее под водой) и поставьте в банки. Мало-помалу подкрашенная вода заполнит все сосуды растения, подымется по капиллярам. Обнаружить ее движение легко — изменится цвет прожилок на листьях. Если сделать на каждой ветке несколько поперечных срезов, то вы увидите, как расположены капилляры (советуем взять для этой цели лупу посильнее).

И последний опыт с растениями. Воду, подкрашенную чернилами, налейте в какой-либо широкий сосуд, например, в миску. Ветку опустите в воду и обрежьте под водой часть стебля. Через несколько минут выньте ветку и сделайте острым ножом несколько срезов. За считанные минуты (не забудьте отметить, за сколько именно) вода довольно высоко продвинется по стеблю.

Другую, точно такую же ветку обрежьте на воздухе, после чего погрузите в ту же миску и держите столько же минут в воде. На этот раз, как показывают срезы, вода поднялась гораздо ниже!

Причина в том, что капилляры растений очень тонкие, они легко забиваются воздушными пробками — крохотными пузырьками воздуха. И тогда поступление воды к листьям прекращается. А когда стебель срезан под водой, то воздушным пробкам неоткуда взяться.

Наверное, вам теперь понятен смысл совета, который дают опытные цветоводы: если вы хотите, чтобы срезанные цветы стояли в вазе как можно дольше, обрезайте стебли не на воздухе, а под водой.

СКОЛЬКО В ЯБЛОКЕ ВИТАМИНА С?

Ответ на этот вопрос можно найти в справочнике. Но там говорится о яблоке вообще, а сколько витамина С именно в этом яблоке, которое вы собираетесь съесть?

Определение витаминов — дело сложное. Но витамин С — аскорбиновую кислоту — можно определить и в домашних условиях.

Возможно, вы решили: коль скоро витамин С — кислота, то определять его количество надо с помощью щелочи. Хорошо бы... Но в нашем случае такой анализ не годится. В плодах, кроме аскорбиновой, есть много других органических кислот: лимонная, яблочная, винная и прочие, все они вступают со щелочью в реакцию нейтрализации. Значит, щелочь не поможет.

Мы воспользуемся характерной особенностью аскорбиновой кислоты — легкостью ее окисления. Вы, конечно, знаете, что при хранении и при готовке теряется много витамина С. Связана это с тем, что молекула аскорбиновой кислоты неустойчива, она легко окисляется даже кислородом воздуха, превращаясь в другую кислоту, дегидроаскорбиновую, которая не имеет витаминных свойств. Мы же используем для анализа еще более сильный окислитель — йод.

Запасемся раствором йода известной концентрации. Для этого можно взять аптечный спиртовой раствор йода (йодную настойку) с концентрацией йода 5 %, т. е. 5 г в 100 мл. Далее приготовим раствор крахмала: разведем 1 г его в небольшом количестве холодной воды, выльем в стакан кипятка и прокипятим еще с минуту. Такой раствор пригоден для опытов в течение недели.

Теперь все готово для определения витамина. Но прежде чем приступить к анализу, потренируемся на чистой аскорбиновой кислоте.

Возьмите 0,5 г аптечной аскорбиновой кислоты (без глюкозы), растворите ее в 500 мл воды и отберите 25 мл раствора. Добавьте примерно полстакана воды — точное ее количество значения не имеет — и еще 2—3 мл раствора крахмала. Теперь осторожно, по каплям, прибавляйте из аптечной пипетки раствор йода, постоянно взбалтывая содержимое (удобнее делать это в конической колбе), Внимательно считайте капли и следите за цветом раствора. Как только йод окислит всю аскорбиновую кислоту, следующая же его капля, прореагировав с крахмалом, окрасит раствор в синий цвет. Это означает, что наша операция — титрование — закончена.

Но как узнать, сколько мы израсходовали йодной настойки? Капли — не единицы измерения... В химических лабораториях есть специальные бюретки с делениями — сразу в миллилитрах. Мы же воспользуемся другим, вполне точным, методом, хотя и более долгим. С помощью той же пипетки посчитаем, сколько капель содержится в аптечной склянке о йодом (она вмещает обычно 10 мл). Не пугайтесь — вся работа займет несколько минут. Зная объем одной капли, можно довольно точно определить объем раствора йода, израсходованного на титрование аскорбиновой кислоты. И теперь, воспользовавшись уравнением реакции (предлагаем вам написать его самостоятельно), можно проверить, сколько в таблетке было аскорбиновой кислоты. А можно решить и обратную задачу: зная количество кислоты, определить концентрацию йодной настойки — действительно ли она пятипроцентная?

Этот несложный способ анализа химики часто используют для определения йода и других окислителей. Он называется аскорбинометрией.

Теперь приступим к решению нашей основной задачи — определению количества витамина С. Концентрация раствора йода нам известна: 1 мл его 5 %-ного раствора соответствует 35 мг аскорбиновой кислоты (кстати, именно столько ее содержится в одном драже поливитаминов).

Начнем с апельсинового или лимонного сока (только что выжатого или консервированного). Отмерьте 20 мл сока и разбавьте водой до объема примерно 100 мл. Влейте немного раствора крахмала, а затем, как и раньше, добавляйте по каплям раствор йода до появления устойчивого синего окрашивания, не исчезающего в течение 10—15 с. Правда, теперь в растворе значительно меньше аскорбиновой кислоты, чем в опыте с таблеткой, и йода пойдет на титрование тоже меньше. Если содержание витамина С очень мало, может случиться так, что потребуется всего 1—2 капли йодной настойки; при этом

наш анализ будет, конечно, очень приблизительным. Чтобы результат был более точным, надо либо взять очень много сока, либо разбавить йодную настойку. Химики (да и все любители вкусного сока) предпочтут второй путь. При анализе фруктовых соков удобно разбавить иод водой в 40 раз, при этом получится 0,125 %-ный раствор, 1 мл которого соответствует 0,875 мг аскорбиновой кислоты. Не забудьте только, что поверхностное натяжение воды больше, чем спирта, и, следовательно, капли воды значительно крупнее. Значит, придется заново посчитать объем одной капли.

В школьной лаборатории или в химическом кружке требуемый раствор йода можно приготовить точнее: 1 л его должен содержать 1,27 г йода. Но растворимость йода в воде при комнатной температуре очень мала (всего 0,3 г/л), поэтому в раствор придется добавить немного йодида калия или йодида натрия, в присутствии которых растворимость йода в воде сильно возрастает. Одна из этих солей непременно есть в аптечном растворе йода.

Приступим теперь к анализу яблок. Здесь мы встретимся с таким затруднением: в яблоках содержится фермент аскорбиноксидаза, в присутствии которого аскорбиновая кислота быстро окисляется на воздухе. Чтобы этого не произошло, анализ надо проводить в кислой среде.

Тонким ножом из нержавеющей стали вырежьте из предварительно взвешенного яблока пробу в виде ломтика, от кожуры до сердцевины с семечками. Витамин С распределен в толще яблока неравномерно, а мы хотим сделать анализ не какой-то одной зоны, а яблока в целом. Этот ломтик перенесите в фарфоровую ступку с разбавленной соляной кислотой и тщательно разотрите пестиком. Добавьте раствор крахмала и титруйте смесь разбавленным раствором иода. Массу пробы определим по разности: взвесим яблоко до анализа, целиком, а затем еще раз, без ломтика.

Но точен ли наш способ? Ведь в соке есть не только витамин С, но и другие органические вещества, которые тоже могут реагировать с йодом (хотя и медленнее, чем аскорбиновая кислота). И все же способ достаточно точен. Вот какие результаты были получены при одном из определений.

Из купленных в аптеке плодов шиповника приготовили отвар—25 г плодов на 0,5 л воды. По йодному методу содержание витамина С, в расчете на сухие плоды, составило 3,8 % (по справочным данным, в сухом веществе плодов шиповника содержится 4,5 % витамина С), В свежевыжатом соке апельсина оказалось 0,05% витамина, а в консервированном—0,075% (по справочным данным,—0,04%). Если учесть, что в различных плодах даже одного сорта содержание витаминов, как правило, колеблется, то следует признать, что метод дает достаточно полное представление о содержании витамина С.

Итак, вы научились быстро и довольно точно определять аскорбиновую кислоту. Теперь перед вами открывается огромное поле деятельности. Можно исследовать самые разные фрукты и ягоды (сок которых не окрашен сам по себе в красный цвет); можно узнать, зависит ли содержание витамина от сорта. Помните только, что растворенная аскорбиновая кислота на воздухе окисляется, опыты надо проводить со свежевыжатым соком.

Вот несколько тем для исследований. Найдите содержание аскорбиновой кислоты в только что сорванных плодах и в тех, что хранились неделю, месяц, полгода. Иногда говорят, что железным ножом нельзя резать фрукты — от этого витамин С разрушается. Проверьте, так ли это, подержав сок в железной посуде. (Кстати, если вы будете сравнивать содержание витамина в свежем соке и в консервированном, то учтите, что последний может содержать специально добавленную аскорбиновую кислоту.) Наконец, проследите, как меняется содержание витамина С в соке при его нагревании и сами сделайте из этих опытов выводы.

МИНДАЛЬ — ГОРЬКИЙ И СЛАДКИЙ

Миндаль, который употребляют в пищу, обычно бывает сладким. Но встречается и горький миндаль, близкий родственник сладкого — их плоды по виду практически неотличимы. Просто так, как орех, горький миндаль не погрызешь, но и он зря не пропадает. Во-первых, из него получают масло, применяемое в медицине, и, во-вторых, используют как

добавку в пищевой промышленности, да и при домашней готовке: у горького миндаля гораздо сильнее аромат. Тот самый аромат, который и называют миндальным.

Отличить горький миндаль от сладкого можно в ту же секунду, как разгрызешь ядрышко. Но мы попытаемся найти и химические различия. Не для аналитических целей — опыт, пожалуй, слишком сложен, чтобы применять его каждый раз для распознавания миндаля, а для того, чтобы разобраться в некоторых любопытных подробностях из жизни розоцветных, ибо к этому семейству и принадлежит миндаль.

Итак, опыт. Очистите несколько зернышек миндаля, снимите с семян плотную оболочку и хорошенько растолките их, добавив 5—10 мл воды. Полученную жидкость профильтруйте, отберите около 10 капель фильтрата и смешайте с несколькими каплями разбавленного (приблизительно 10 %-ного) раствора едкого натра. Реакция смеси должна быть щелочной, поэтому добавляйте раствор щелочи до тех пор, пока не появится устойчивое окрашивание с раствором фенолфталеина. Можно использовать для этой цели и самодельный индикатор.

Следующая операция: добавьте каплю раствора железного купороса $FeSO_4*7H_2O$, нагрейте смесь до кипения, профильтруйте и прибавьте к фильтрату несколько капель соляной кислоты. Теперь реакция смеси должна быть кислой (вновь проведите пробу с индикатором). И последнее ваше действие: капните одну каплю раствора хлорида железа $FeCl_3$. Вот теперь станет ясно, что у вас за миндаль. Если он был сладким, то ничего не произойдет. Но если он горький, то после добавления хлорида железа мгновенно выпадет красивый синий осадок, это — берлинская лазурь, вещество состава $Fe_4[Fe(CN)_6]_3$.

Горький миндаль, давший красивую цветную реакцию, содержит сложное вещество, которое называется амигдалином. И в этом же миндале есть фермент гликозидаза, который способен разлагать амигдалин в присутствии воды на более простые вещества. После сложной цепочки превращений, которую мы простоты ради опустим, образуется ферроцианид натрия $Na_4[Fe(CN)_6]$. Именно он с последней каплей хлорида железа и дает такое яркое окрашивание.

Но отчего же сладкий миндаль не даст такой реакции? В нем нет амигдалина. Но фермент гликозидаза есть, и этим можно воспользоваться для еще одного опыта.

Горький миндаль заменим на этот раз сливовыми, персиковыми пли вишневыми косточками: и слива, и персик, и вишня — тоже из семейства розоцветных, у них немало общего с миндалем. В том числе — амигдалин в семенах,

Извлеките семена из зернышек (но только не подвергавшихся нагреву — это не должны быть косточки из компота или варенья; из замороженных плодов или из свежих — пожалуйста). Смешайте их пополам со сладким миндалем, добавьте воду, профильтруйте жидкость и продолжайте опыт, как с горьким миндалем. Как только вы добавите в конце последнюю каплю раствора хлорида железа, вновь образуется синяя берлинская лазурь.

Амигдалин в этом опыте — из косточек вишни, персика или сливы, а разрушающий его фермент — из сладкого миндаля. Вот так, с помощью разных плодов, мы получили, наконец, тот же эффект, что и с горьким миндалем.

Попутно—важное замечание. Врачи не советуют хранить слишком долго домашние заготовки из вишни и сливы, если они не были сварены. Вся опасность — в косточках. При превращениях амигдалина могут образоваться и вредные для здоровья вещества, хотя для этого требуется долгое время (свежие косточки безопасны).

Теперь, разобравшись что к чему, вы можете смело давать советы. Первый из них: хотя это и хлопотно, лучше для спокойствия удалять из плодов косточки. И второй: компоты и варенья вреда не принесут даже с косточками, потому что при нагревании разрушаются ферменты, которые разлагают амигдалин. Если хотите, поставьте опыт с вареными зернышками—никакой окраски не появится.

ПРИЯТНОЕ С ПОЛЕЗНЫМ

Химические опыты можно ставить с разными целями: чтобы удовлетворить любопытство, приятно и разумно занять досуг, проверить на практике то, что известно по книгам. А еще в результате химических превращений можно получить полезные — для вас, для дома, для школы — вещества или смеси веществ. Причем вы приготовите их своими руками! Это могут быть самодельные краски, или красивый (сугубо химический) новогодний подарок, или значок, которого ни у кого нет...

Многие опыты из этого раздела (как, впрочем, и из последующих) лучше ставить в химическом кружке. Во-первых, сообща приятнее работать. Во-вторых, можно сделать нечто полезное для школы или клуба. И наконец, если возникнут затруднения — с постановкой опыта, с посудой или с реактивами,— то преодолеть их гораздо проще в кружке, нежели дома.

Начнем с красок — масляных и акварельных.

МАСЛЯНЫЕ КРАСКИ

Всякая масляная краска—это смесь олифы с пигментами, т. е. с красящими веществами. Как их приготовить самостоятельно, будет рассказано дальше, а сейчас займемся основой масляной краски — олифой.

Разумеется, олифу (как и некоторые пигменты) можно купить в магазине. Но для юного химика такое решение было бы слишком неинтересным. Если уж ставить опыты, то надо и олифу приготовить самостоятельно. Однако прежде надо уяснить, что она собой представляет.

Натуральную олифу готовят на растительных маслах. Таких масел множество; некоторые из них способны высыхать на воздухе (льняное, конопляное). Другие высыхают лишь отчасти, и поэтому называются полувысыхающими (например, подсолнечное масло). А некоторые масла не высыхают вовсе—оливковое из оливок, касторовое из клещевины.

Но что значит слово «высыхают» применительно к маслам? В них нет растворителя, и высыхать вроде бы нечему. Так оно и есть, высыхание — термин хотя и устоявшийся, но не совсем точный. На самом деле масла полимеризуются, их молекулы связываются между собой, образуя твердый нерастворимый и неплавкий полимер. Но для этого нужно вещество, которое сшило бы воедино относительно небольшие молекулы масла. Это вещество— кислород воздуха. Вот почему пленка масляной краски, нанесенной на изделие, высыхает быстро. А масло, оставшееся в банке, загустевает лишь с поверхности: только она и соприкасается с воздухом.

Но даже высыхающие масла сами по себе реагируют с кислородом очень медленно, и нам пришлось бы ждать очень долго, пока краска перестанет пачкать. Однако эту реакцию можно значительно ускорить, если добавить к маслу немного катализатора, Те катализаторы, которые ускоряют высыхание масляной пленки, называют сиккативами. Обычная олифа — это смесь масла (в последнее время — все чаще синтетического) с сиккативом.

Итак, чтобы приготовить олифу, надо смешать высыхающее масло с сиккативом. Его также можно купить в магазине, но не лучше ли будет приготовить сиккатив самостоятельно и на опыте проверить его действие?

Многие сиккативы — это соли органических кислот. Вы можете приготовить такую соль, достаточно известную — плавленый резинат; резинатами называют соли кислот, входящих в состав канифоли.

В фарфоровой посуде (а если ее нет, то в металлической) нагрейте около 50 г канифоли. Температура должна быть примерно 220—250 °С, канифоль при такой температуре расплавится. В этот расплав небольшими порциями при размешивании введите (с осторожностью, не дотрагиваясь руками) 5 г негашеной извести CaO. В результате реакции получится резинат кальция.

Если вместо извести взять 15 г глета (оксида свинца PbO), растертого в пасту с льняным маслом, и добавлять его небольшими порциями, то образуется другой сиккатив— резинат свинца. Глет можно получить из порошка свинца, смешанного с натриевой или

калиевой селитрой (это распространенные удобрения). При нагревании смеси образуется оксид свинца PbO желтого цвета, так что о ходе реакции можно судить по изменению окраски. Когда она станет достаточно интенсивной, прекратите нагрев, охладите смесь и обработайте ее водой. Растворимый продукты реакции перейдут в раствор, а при встряхивании легкий глет отделится от тяжелого свинца, не вступившего в реакцию,— он осядет на дно. Таким образом, надо слить взмученную непрозрачную жидкость с осадка, профильтровать и высушить — глет готов.

Смесь канифоли с CaO или PbO надо нагревать до тех пор, пока не получится однородная масса. Ее капли помещайте время от времени на чистое стекло, и как только капля окажется прозрачной, нагрев можно прекратить.

Еще один очень распространенный сиккатив — оксид марганца MnO_2. Получить его можно просто. Приготовьте два раствора — сульфита натрия Na_2SO_3 и перманганата калия $KMnO_4$ (марганцовки). Когда вы смешаете эти растворы, в осадок выпадет черный порошок. Это и есть искомый оксид. Отфильтруйте его и высушите на воздухе без подогрева.

Какой бы сиккатив вы ни приготовили, дальнейшие действия будут одинаковыми. Добавьте сиккатив в нагретое до 150—200 °С льняное или конопляное масло — оба высыхающие. Опыт удается лучше, если масло рафинированное. На 100 частей масла возьмите 3—5 частей сиккатива и размешайте смесь до полного его растворения. Вы приготовили олифу. Дайте ей остыть и проверьте действие сиккатива.

Нанесите олифу тонким слоем на стекло или металл, рядом нанесите такую же пленку чистого масла, без катализатора. Вы легко обнаружите, насколько сиккатив ускоряет высыхание масла. Если вы приготовили несколько сиккативов, сравните их активность.

Чтобы получить масляную краску, олифу надо смешать с пигментом, готовым или самодельным. Имейте в виду, что пигмент должен быть высушен как следует, растерт и просеян через самое мелкое сито, какое вы сможете найти, или через марлю, сложенную вдвое.

К такому мелкому порошку добавляйте по каплям олифу, каждый раз размешивая и растирая ее, пока не получится густая однородная масса, напоминающая кашу. Разотрите ее тщательно еще раз и разбавьте все той же олифой, чтобы она приняла густоту обычной малярной краски. Возможно, ваша краска окажется прозрачной, а это далеко не всегда желательно. Чтобы избежать прозрачности (как говорят специалисты, чтобы краска была укрывистой), добавьте к маслу какой-нибудь белый пигмент. Он не повлияет на окончательный цвет краски, но лишит ее прозрачности.

Даже если вы все будете делать аккуратно, полученная масляная краска все равно будет, пожалуй, чуть-чуть хуже, чем из магазина. Зато—своими руками.

ПИГМЕНТЫ

Пигменты еще несколько десятилетий назад называли обычно минеральными красками, подчеркивая их происхождение: многие природные пигменты получали измельчением окрашенных минералов. И сейчас поступают порою так же, особенно если надо приготовить яркие, сочные, стойкие краски для живописи. Но гораздо чаще в наши дни используют синтетические пигменты — всевозможные оксиды и соли металлов. Если же пигменты имеют органическую природу, то их чаще называют красителями; пожалуй, главная область их применения — окрашивание тканей.

Займемся приготовлением минеральных пигментов разных цветов. Начнем с белого.

В роли белых пигментов обычно выступают соединения свинца, цинка и титана: последние для самостоятельного изготовления наименее доступны. А лучший источник свинца в домашней лаборатории — это свинцовая примочка, 20%-ный раствор основного ацетата свинца, с которым вам уже доводилось работать. Так как свинцовые белила представляют собой основной карбонат свинца $Pb(OH)_2CO_3$, то для их получения надо пропускать через раствор ацетата (т. е. через примочку) диоксид углерода. Свинцовые белила при этом выпадут в осадок. Отфильтруйте его, промойте водой и высушите. В фильтрате останется раствор ацетата свинца. Старайтесь работать так, чтобы соединения

свинца не попадали на руки и лицо, и ни в коем случае — в рот. Красками, приготовленными на основе таких соединений (в том числе и со свинцовым сиккативом) запрещается красить посуду и любые предметы, которые соприкасаются с пищей.

Цинковые краски, к которым мы сейчас перейдем, тоже не предназначены для окрашивания посуды; все предупреждения об осторожности, только что сделанные, относятся и к ним.

Исходным веществом для цинковых пигментов будет служить хлорид цинка $ZnCl_2$. Раствор его можно получить, опустив в соляную кислоту немного цинка, необязательно гранулированного. Годится, например, стаканчик от старой батарейки — он сделан из почти чистого цинка. К полученному раствору осторожно, по каплям, добавляйте раствор стиральной соды. Сначала он нейтрализует избыток кислоты (вы заметите это по вспениванию), а потом вступит в реакцию с хлоридом цинка, образуется карбонат $ZnCO_3$. Его надо отфильтровать, промыть водой и прокалить при температуре не ниже 280 °С. Выше этой температуры карбонат цинка разлагается на белый оксид цинка ZnO и CO_2.

Есть еще один белый цинковый пигмент — сульфид цинка ZnS. Для его приготовления надо получить сначала сульфид натрия Na_2S. Проще всего поступить так: сильно нагреть сульфит натрия Na_2SO_3 (еще раз напоминаем — это вещество продают в фотомагазинах), тогда образуются два вещества — сульфат Na_2SO_4 и сульфид Na_2S. Нам требуется только второе вещество. Смесь после охлаждения растворите в воде и добавляйте понемногу раствор хлорида цинка, получение которого описано в предыдущем опыте. Избегайте избытка кислоты: образующийся сульфид в ней растворяется. После фильтрования и высушивания вы получите нерастворимый сульфид белого цвета — порошок ZnS.

Перейдем к цветным пигментам. Получим сначала сине-зеленую ярь-медянку — смесь основных ацетатов меди.

К раствору медного купороса добавьте раствор соды, и в осадок выпадет основной карбонат меди $Cu_2(OH)_2CO_3$. Отфильтруйте его, и осторожно, по каплям, добавьте уксусную эссенцию до полного растворения осадка. Упарьте раствор на небольшом огне почти досуха, не допуская сильного перегрева и разбрызгивания жидкости, а затем охладите. Выпавшие сине-зеленые кристаллы отфильтруйте и высушите между листами фильтровальной бумаги.

В кружке такой опыт лучше ставить под тягой, а дома не забудьте после опыта как следует проветрить комнату, чтобы исчез запах уксуса.

Перейдем к пигментам на основе оксида железа Fe_2O_3. Сурик, мумия, охра, умбра, колхотар, венецианская красная, английская красная—вот далеко не полный перечень таких пигментов. В зависимости от способа получения у краски могут быть различные оттенки, от красного до коричневого, а при сильном нагревании оксид железа чернеет.

Это вещество легко получить прокаливанием железного купороса $FeSO_4*7H_2O$ (семиводный сульфат железа). Берите небольшие порции купороса, тогда разложение пойдет быстрее. Накаливайте купорос до тех пор, пока он из зеленого не станет черным. При охлаждении получится красный оксид Fe_2O_3.

Если не удастся купить готовый железный купорос (а его продают в хозяйственных магазинах), то сульфат железа нетрудно приготовить из более распространенного медного купороса; опустите в его раствор железные опилки, настроганные напильником и промытые в бензине. Как только голубой раствор станет зеленым, слейте его с осадка, профильтруйте и упарьте досуха. Вы получите не чистый железный купорос, потому что железо частично окислится кислородом воздуха, однако на результат опыта это не повлияет.

Коричневый гидроксид железа $Fe(OH)_3$ вы получите из раствора железного купороса, в который добавлен раствор едкого натра, приготовленного из стиральной соды и гашеной извести, как было описано в главе «Олово и свинец». Работая с любыми щелочами, не забывайте об осторожности! В результате реакции в осадок выпадет гидроксид железа $Fe(OH)_2$. До требуемого нам гидроксида $Fe(OH)_3$ он легко окисляется пероксидом (перекисью) водорода, а если время терпит, то просто кислородом воздуха при хранении в

открытой склянке. Осадок коричневого цвета отделите и высушите при комнатной температуре.

Широко известный синий пигмент на основе железа — берлинская лазурь. Для ее приготовления нужна соль трехвалентного железа. Вот как ее можно получить: свежеосажденный гидроксид железа, приготовленный в предыдущем опыте, растворите в соляной кислоте (можно в разбавленной, аптечной) или, что несколько хуже, в уксусной эссенции, и смешайте с раствором ферроцианида калия (под названием желтой кровяной соли это вещество продают в фотомагазинах). Мгновенно образуется синий осадок знакомой вам берлинской лазури: $Fe_4[Fe(CN)_6]_3$. Эта реакция очень чувствительна, ее часто используют для обнаружения в растворе ионов трехвалентного железа.

Желтый оксид свинца — глет, на основе которого вы готовили сиккатив, можно вводить в краску и как пигмент. А чтобы получить ярко-красный свинцовый сурик, смешанный оксид свинца Pb_3O_4, достаточно нагреть на воздухе ранее приготовленный глет. Тонкость, однако, в том, что реакция окисления обратима, и при температуре выше 500 °С сурик вновь превращается в глет. Значит, нужна температура несколько ниже 500 °С, но ненамного, иначе реакция вообще не пойдет. Вряд ли у вас есть подходящий термометр. Поэтому положите рядом с прокаливаемым глетом кусочки свинца и цинка. Их температуры плавления соответственно 327 и 420 ^{0}С, этот интервал вполне приемлем для получения сурика. Понятно, что во время опыта свинец должен быть расплавленным, а цинк твердым.

Черный пигмент—это обычная сажа. Вот один из способов получения хорошей сажи, пригодной для изготовления краски. Направьте пламя парафиновой свечи на холодный массивный предмет, разумеется, негорючий. Образующийся черный налет время от времени соскребайте, В таких условиях парафин сгорает не полностью и наряду с диоксидом углерода CO_2 образуется элементарный углерод — сажа.

В заключение получим зеленые пигменты. Сначала темно-зеленый оксид хрома Cr_2O_3. Как вы помните из опытов с окислением — восстановлением, многие соединения хрома ярко окрашены, поэтому их часто используют в качестве пигментов, однако лишь для тех красок, которые не соприкасаются с пищей.

Будем вновь исходить из бихромата калия $K_2Cr_2O_7$, самого доступного из соединений хрома. Смешайте его с активным углем или с серой и тщательно разотрите смесь в ступке, а затем, взяв не более 2 г смеси, сильно ее нагрейте в фарфоровой или металлической посуде (когда веществ взято много, реакция идет слишком бурно). Охладите смесь, промойте ее несколько раз водой и отфильтруйте, Оставшийся на фильтре темно-зеленый оксид хрома высушите.

Есть и другие способы получения этого пигмента, например, нагреванием бихромата аммония или смеси бихромата калия с хлоридом аммония (нашатырем). Примите во внимание, что оксид хрома, получаемый в таких реакциях, находит применение не только как зеленый пигмент, но и в качестве тонкого абразивного материала, одного из самых лучших. Он входит в состав многих особо тонких полировальных паст, например, для доводки линз и зеркал оптических приборов.

Наконец, ярко-зеленый пигмент «изумрудный зеленый», гидроксид хрома. От обычного серого гидроксида того же состава он отличается тем, что состоит из более крупных частиц.

Сплавьте бихромат калия с аптечной борной кислотой в железной ложке. Нагревать надо до красного каления железа, ложку необходимо держать щипцами. После охлаждения обработайте плав водой и профильтруйте. Вы убедитесь, что цвет вещества и впрямь изумрудно-зеленый.

Получив пигменты в достаточном количестве, испытайте их, как списано в предыдущей главе, в составе масляных красок. Или каких-либо других, покупных, добавляя самодельный пигмент в белую краску либо синтетическую эмаль.

АКВАРЕЛЬНЫЕ КРАСКИ

В старых книгах часто встречаются названия экзотических красителей: красный

сандал, кверцитрон, кармин, сепия, кампешевое дерево... Некоторые из этих красителей применяют и поныне, но в очень небольших количествах, главным образом для приготовления художественных красок. Ведь природные красители с такими красивыми названиями получают из растений и животных, а это, как вы понимаете, дорого и сложно. Зато натуральные красящие вещества очень ярки, прочны, светостойки.

Любопытно было бы проверить. Но каким образом? Кампешевое дерево растет в Южной Америке, сандал — в Южной Азии, сепию добывают из каракатиц, кармин—из кошенили (крошечных насекомых)...

И все же получить природные красители даже в домашних условиях, даже в средней полосе нашей страны вполне возможно. И в привычных для нас растениях есть красящие вещества, пусть не такие яркие и не такие стойкие. Наши предки часто ими пользовались. Попробуем и мы извлечь красители из растений, а потом на их основе приготовим водорастворимые краски, известные всем как акварельные. Естественно, что красители, которые мы будем добивать, должны хорошо растворяться в воде.

Все красители будем готовить одним и тем же способом: измельчим растения или какие-либо их части и будем долго кипятить в воде, чтобы получился концентрированный отвар. Он должен быть достаточно густым. Извлекать сухой краситель нам не потребуется — все равно ведь нам предстоит готовить водорастворимую краску.

Очень важное замечание: берите только те растения, которые разрешено собирать там, где вы живете; ни в коем случае не рвите растения, взятые под охрану в вашей области или республике. И в любом случае, чтобы не наносить вреда природе, ограничьте число собранных растений до минимума.

Начнем с красного красителя. Его можно получить из стебля зверобоя (отвар надо подкислить) или из корня подмаренника, Возможно, вы не знаете, как выглядят названные растения. В таком случае посоветуйтесь с учителем биологии либо возьмите в библиотеке какой-либо справочник или определитель растений; в них, как правило, даются и описания растений, и их рисунки.

Ольховую кору положите в воду на несколько дней, а потом приготовьте отвар. Вновь у вас получится красный краситель. Его можно извлечь также из корней конского щавеля, но в этом случае не забудьте прибавить к готовому отвару немного алюминиевых квасцов — иначе цвет будет тусклым.

Из корней известного растения девясила (он, как и зверобой, относится к лекарственным травам) можно получить синий красителе. Для этого корни надо сначала подержать в нашатырном спирте — водном растворе аммиака. Синий краситель можно добыть также из цветов живокости и корней птичьей гречишки.

Краситель зеленого цвета извлекают из листьев трилистника (тоже, кстати, лекарственная трава). Не такой яркий, но тем не менее красивый серо-зеленый краситель вы добудете из листьев и стеблей манжетки; перед приготовлением отвара их необходимо тщательно измельчить.

Желтый краситель дают многие растения: дрок красильный, орешник (кора), ольховидная крушина (кора, листья, ягоды), подмаренник (цветы). Из плодов барбариса получается желтый краситель с лимонным оттенком.

Если отварить в воде сухую кожуру репчатого лука, то получается коричневый краситель разных оттенков — от почти желтого до темно-коричневого. Другой источник такого красителя — сухая кора жостера.

Ягоды черники и ежевики, как нетрудно догадаться, содержат фиолетовый краситель. Он не очень стоек, но вполне может пригодиться для акварельных красок. А из стеблей и листьев чистотела удается извлечь краситель оранжевого цвета.

А как получить черный пигмент? Во-первых, для этого можно приготовить отвар из ягод и корней воронца. Но есть и другой способ, более простой: добавить железный купорос к одному из полученных ранее отваров. Почти все наши отвары содержат дубильные вещества типа танина (вспомните опыты с чаем), и в присутствии солей двухвалентного

железа они становятся черными.

Вы запаслись достаточным количеством густых разноцветных отваров? Тогда приступим к главному—изготовлению акварельной краски. Главные ее составные части — краситель и вода, но есть и другие обязательные компоненты. Прежде всего, такие вещества, которые скрепляют краску с бумагой, например гуммиарабик или древесные клеи—вещества с повышенной липкостью. Далее, нужны вязкие вещества, они помешают краске растекаться по бумаге, заставят ее лечь ровным слоем; хороши для этого мед, патока, глицерин. И последняя добавка — антисептик и дезинфицирующее вещество. Ведь мы имеем дело с веществами растительного происхождения, а их надо защищать от действия микроорганизмов (плесневых грибков, которые непременно захотят питаться нашими красками).

Если у вас нет гуммиарабика, то в качестве клеящего вещества лучше всего взять вишневый или сливовый клей, натеки на стволах, которые можно собрать прямо с деревьев — им это не во вред. Правда, такой клей (говоря точнее,—камедь) в воде растворяется с трудом, но если добавить немного кислоты, то растворение пойдет значительно быстрее.

Для краски каждого цвета приготовьте 5—7 мл клеевого раствора примерно 50%-ной концентрации. Смешайте его с равным количеством глицерина или же примерно втрое меньшим количеством меда. Антисептиком будет служить фенол, его 5 %-ный раствор под названием «карболовая кислота» есть в аптеках. Этого вещества нужно очень мало, буквально несколько капель.

Все компоненты будущей краски смешайте. Основа краски готова, нет только самого важного — красителя. Добавляйте его в последнюю очередь в виде густого отвара, взяв его примерно столько же, сколько у вас получилось основы для краски.

Вот, собственно, и вся процедура. Возможно, вы удивлены, отчего краска получилась не твердая — в магазинах ее продают в плитках. Однако художники пользуются и полужидкими акварельными красками, в тюбиках. По консистенции они как раз напоминают те разноцветные краски, которые вы только что приготовили.

Если вы собираетесь хранить свои краски, обязательно перелейте их в какие-нибудь склянки, плотно закрывающиеся полиэтиленовыми пробками, в противном случае краски скоро высохнут. А работать ими надо так же, как и всякими другими акварельными красками: мягкая кисть, плотная бумага... Впрочем, среди юных химиков наверняка есть и юные художники.

Прежде чем перейти к новой теме, дадим еще один совет: попробуйте окрасить ткань. Ведь в старину большую часть растительных красителей использовали именно для этой цели. Договоримся только вот о чем: не кладите в красильную ванну (а ею может служить миска или таз) хорошие вещи. Поэкспериментируйте сначала с кусочками чистой белой ткани или пряжи. И только в том случае, если вы убедитесь, что опыт проходит успешно, берите какую-либо вещь — обязательно из тех же волокон, на которых вы ставили эксперимент.

Перед окраской ткань, как правило, требуется протравить — подержать в горячем растворе какой-либо соли; для этой цели часто берут раствор алюмокалиевых квасцов. Подержав ткань или пряжу в протраве несколько минут, опустите ее в отвар красителя, предварительно процеженный через марлю, и кипятите в нем. Точного совета, насколько крепким должен быть отвар, дать, к сожалению, нельзя, потому что два внешне одинаковых растения могут содержать разные количества красящего вещества. Так что концентрацию и время обработки придется подбирать опытным путем.

Назовем несколько растении, из которых можно получить неплохие красящие отвары для ткани. Начнем с упоминавшейся уже луковой шелухи. В ее отваре ткань станет желто-красной, если протравить ее квасцами, и зеленой, если протравить железным купоросом. Луковую шелуху использовали с давних времен для крашения шерсти и льна.

Из листьев и стеблей картофеля тоже можно приготовить краситель. Их отвар окрасит ткань в лимонный цвет, если ткань заранее обработана раствором какой-либо соли олова. А

отвар корня ревеня придаст ткани, протравленной раствором железного купороса, болотный цвет.

Для окрашивания шерсти можно использовать и отвары из коры деревьев. Так, кора ольхи окрасит шерсть в темно-красный цвет, кора ясеня — в синий. Древесина дикой груши содержит коричневый краситель (шерсть перед крашением надо протравить в водном растворе какой-либо соли висмута). В листьях березы есть серо-зеленый краситель, правда, он не очень эффектен.

В былые времена редко, но все же красили шерсть раствором кофе, только сырого, чтобы получить зеленый цвет. Опробуйте и этот краситель, благо сырых кофейных зерен нужно совсем немного. Их надо размолоть и отварить с добавкой стиральной соды, а шерсть перед тем, как погружать ее в отвар, протравите в горячем растворе квасцов.

Если это занятие придется вам по вкусу, проверьте сами красящее действие других растений в сочетании с разными протравами. Не исключено, что вы обнаружите какое-либо неизвестное или совершенно забытое сочетание, и окраска окажется на редкость красивой.

СРЕДСТВО ОТ РЖАВЧИНЫ

Из стеблей, коры, плодов и листьев получают не только красители, но и десятки других полезных веществ. Как ни удивительно, растения содержат и такие органические соединения, которые способны предохранить металл от коррозии.

Представьте себе, что громоздкую стальную деталь необходимо очистить от ржавчины. Не тереть же ее наждачной шкуркой. Значит, нужен химический способ, например, травление кислотой. Но если опустить деталь в раствор какой-либо кислоты, удаляющей ржавчину, то неизбежно растворится и часть металла — как его убережешь от контакта с кислотой?

Ответ ясен: нужен раствор, который удалял бы ржавчину, но не трогал самого металла. Такие травильные растворы давно уже применяют на практике. Помимо кислоты, в них входит еще одна важная добавка — ингибитор коррозии. Это такое вещество, которое резко замедляет растворение металла, но почти не мешает растворяться его оксидам и гидроксидам, т. е. продуктам коррозии.

Те ингибиторы, которые применяют на заводах, получены преимущественно синтетическим путем. Среди них гексаметилентетрамин, в аптеках его продают и под названием «уротропин». Если поставить параллельный опыт — два одинаковых железных предмета положить в две пробирки со слабым раствором соляной кислоты, причем заранее добавить в одну немного растолченного уротропина, то разницу вскоре можно заметить и невооруженным глазом: в пробирке с ингибитором растворение металла будет идти намного медленнее.

Но мы собирались извлекать ингибиторы коррозии из растений. Этим сейчас и займемся.

Из дикорастущих растений для наших опытов подойдут чистотел, хохлатка и дымянка из семейства маковых, алтей лекарственный из семейства мальвовых и тысячелистник из семейства сложноцветных; нам понадобятся их листья и стебли. Заметьте, что многие из этих растений в сухом виде бывают в аптеках. Для опытов нужно несколько экземпляров растений. Предупреждения о бережном отношении к природе остаются в силе, равно как и предложение посоветоваться с учителем биологии или запастись определителем растений.

Для извлечения ингибиторов можно взять и некоторые культурные растения — это, пожалуй, проще. Годятся для опытов листья и стебли картофеля и помидоров. Есть смысл подождать, пока созреет урожай и взять для экспериментов ненужные уже остатки растений.

Листья и стебли дикорастущих или домашних растений измельчите ножом и залейте слабым, концентрацией не более 5%, раствором соляной кислоты. Если вы пользуетесь аптечной соляной кислотой, то разбавьте ее водой примерно вдвое. Оставьте залитую раствором массу на несколько дней в закрытой посуде, чтобы экстракция прошла как можно полнее; недели, во всяком случае, должно хватить. Когда экстракт будет готов, составьте

травильный раствор для проржавевших деталей. Если ржавчины очень много, то состав раствора (для удобства—по объему) будет таким: на 5 частей экстракта—40 частей концентрированной соляной кислоты и 75 частей воды. Если же ржавчины не очень много, то надо взять 10 частей экстракта и примерно 20 частей кислоты; количество воды тоже можно немного увеличить.

В такие растворы вы можете погружать заржавевшие детали. Они довольно скоро станут блестящими, будто новенькие, а металл с них почти не перейдет в травильный раствор.

Но что же за вещества в растениях, которые, как обнаружилось, так хорошо защищают металл от коррозии? Это комплекс соединений — алкалоиды, полисахариды, белки, слизистые и дубильные вещества. Все они, хотя и в разной степени, обладают способностью адсорбироваться на металлической поверхности и закрепляться на ней, а следовательно, они препятствуют прямому контакту металла с кислотой. Со ржавчиной же они объединяться не желают, вот она и растворяется в кислоте без помех.

КРАСИМ БЕЗ КРАСКИ

Без краски можно покрасить многие металлические поверхности, если покрыть их (химически или электрохимически) тонким слоем цветных оксидов или солей, прочно сцепленных с поверхностью. Последнее условие выполнить не так-то легко. Например, железо во влажном воздухе быстро (и без нашей помощи) покрывается красно-бурым налетом продуктов окисления, попросту говоря — ржавчиной, но такой метод окраски никуда не годится, потому что ржавчина еле-еле держится и пачкается при прикосновении.

Здесь мы приведем несколько рецептов окрашивания цветных металлов. Лишь некоторые из них пригодны для домашнего эксперимента, остальные требуют химических реактивов, которые не купишь ни в аптеке, ни в фотомагазине. Однако надеемся, вы уже записались в химический кружок.

Медь и латунь довольно быстро тускнеют на воздухе. Но они сохранят блеск, если окрасить их химическим путем. Подготовка деталей потребует некоторого времени, потому что поверхность должна быть совершенно чистой, без следов грязи и жира. Отполированную деталь тщательно протрите тряпочкой, смоченной в бензине, а затем влажным мелом или зубным порошком. Промыв деталь в проточной воде, подвесьте ее на суровой нитке или леске и не касайтесь больше руками, чтобы не оставить жировых пятен (даже если кожа на вид совершенно сухая, все равно на ней есть хоть немного жира). Опустите деталь в разбавленный раствор азотной кислоты (не более 5—10 мл на 100 мл воды) и снова промойте, лучше горячей водой. Подготовка завершена.

Дальнейшее зависит от того, в какой цвет вы решили покрасить медь. Если в черный, то подержите деталь минут пять в растворе, в котором на 100 мл воды приходится 0,9 г едкого натра и 0,3 г персульфата аммония $(NH_4)_2SO_8$ (его применяют в фотографии). Температура раствора 90—100 °С.

В растворе хлорида калия, сульфата никеля $NiSO_4$ и сульфата меди $CuSO_4$ (соответственно 4,5, 2 и 10,5 г на 100 мл воды) при той же температуре медь и латунь приобретут приятный шоколадный оттенок. Латунь станет лазурной после кратковременного выдерживания в смеси, состоящей из 3 г ацетата свинца (можно использовать свинцовую примочку), 6 г тиосульфата натрия (гипосульфита), 5 г уксусной кислоты и 100 мл воды. Температура такого раствора — около 80 °С.

Медь можно и позеленить. Для этого ее нужно опустить в такой раствор: на 100 мл воды—20 г нитрата меди $Cu(NO_3)_2$, 30 г нашатырного спирта и по 40 г хлорида аммония (нашатыря) и ацетата натрия; раствор последнего вещества легко получить из соды и уксуса. С нитратом меди обращайтесь, пожалуйста, осторожно, избегая попадания на лицо и особенно в рот.

За исключением опыта с чернением, мы нигде не указываем времени реакции. Подберите его сами на опыте, приняв во внимание, что чем дольше время обработки, тем интенсивнее цвет.

Следующий металл, который поддается химической окраске, — это цинк. Его используют нечасто, но с оцинкованными предметами—ведрами, тазами, корытами—все хорошо знакомы. Объектом эксперимента может быть любой старый, негодный оцинкованный предмет. Промойте его поверхность раствором соды или протрите тряпочкой, смоченной в бензине, вымойте горячей водой с мылом и несколько раз прополощите. На оцинкованную поверхность нанесем смеси веществ, которые вступят с цинком в реакции; дающие окрашенные соединения. Вот рецепты красок.

Черная: 2 части нитрата меди, 3 части оксида меди, 8 частей соляной кислоты и 64 части воды; после появления окраски поверхность промыть водой и высушить.

Зеленая: по 10 частей сульфата меди и винной кислоты, 12 частей воды и 24 части раствора едкого натра в воде (1:15); как только появится окраска, сейчас же ополоснуть поверхность водой, иначе будет бурый оттенок.

Синяя: на 100 мл воды—6 г какой-либо соли никеля и столько же хлорида аммония,

Золотая: раствор из 1 части винной кислоты, 2 частей соды и 1 части воды смешать с чистой глиной; поверхность натереть смесью, а когда она высохнет, ополоснуть водой.

Коричнево-бронзовая: смесь из 1 части яри-медянки и 5 частей уксусной кислоты; поверхность натереть смесью, промыть водой и просушить.

Медная; так как цинк активнее меди, значит, достаточно смочить его раствором медной соли, например, медного купороса.

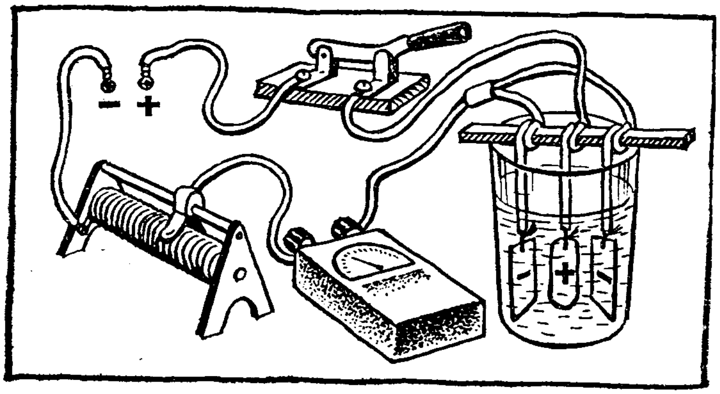
Между прочим, такими красками можно нарисовать на цинковой поверхности картину.

От цинка перейдем к алюминию. Окрасить его несколько сложнее: и операций больше, и не обойтись без электрического тока. Оксид и соли алюминия невзрачны, поэтому нужен другой способ окрашивания. Он известен: это анодирование. Суть его в том, что через алюминиевую деталь, погруженную в электролит, пропускают ток; при этом на поверхности образуется пленка оксида толщиной менее 0,1 мм. Так как алюминиевые детали в гальванической ванне служат анодом, процесс и называют анодированием. Оксидная пленка пронизана микроскопическими разветвленными порами, в которых хорошо удерживаются красители. Можно окрасить анодированную поверхность и органическими красителями, в том числе природными, но лучше все же неорганическими веществами. Обычно деталь обрабатывают поочередно в двух красящих растворах, и ярко окрашенные продукты реакции остаются в порах.

Отполируйте алюминиевую деталь, обезжирьте ее бензином или ацетоном, промойте в горячей воде и подвесьте на проволочке. Опустите деталь на две-три минуты в 5 %-ный раствор едкого натра, еще раз промойте и погрузите в слабый раствор азотной кислоты (20—30 мл кислоты на 100 мл воды). Разумеется, до детали дотрагиваться уже нельзя, а если с подвеской работать неудобно, помогайте себе пинцетом.

Снова промойте детали в горячей и в холодной воде и подвесьте на проволочке в стакане. Можно положить на края стакана палочку или карандаш и обмотать вокруг него проволочку раз-другой, подобрав такую высоту, чтобы деталь оказалась на несколько сантиметров выше дна. Соедините деталь с положительным полюсом источника тока. Катоды — стальные пластинки — подвесьте таким же образом. Источником тока могут служить батарейки, но они очень быстро «сядут»; аккумулятор или трансформатор с выпрямителем предпочтительнее.

В стакан с деталью налейте раствор серной кислоты (20 мл кислоты на 100 мл воды; осторожно!). Включите в цепь ключ или рубильник и реостат, чтобы регулировать ток. Для



его измерения нужен миллиамперметр, но годится и тестер, который есть у многих радиолюбителей. Замкните цепь и установите ток из расчета 20—25 мА на 1 см^2 поверхности. Деталь сразу покроется пузырьками газа—это

выделяется кислород, который и окисляет алюминий. При комнатной температуре процесс длится около часа.

Промойте анодированную деталь в проточной воде и приступайте к окраске. Погружайте деталь поочередно в два красящих раствора, выдерживая в каждом 5—10 мин и промывая каждый раз в проточной воде. Окрашенные детали еще раз промойте и высушите.

Вот составы красящих растворов и их возможная концентрация (в граммах на 100 мл воды):

синий или голубой цвет—ферроцианид калия (1—5) и хлорид железа (III) (1—10); коричневый— ферроцианид калия (1—5) и медный купорос (1— 10); черный—ацетат кобальта (5—10) и перманганат калия (1,5—2,5); желтый—бихромат калия (5— 10) и ацетат свинца (10—20); золотисто-желтый— гипосульфит натрия (1—5) и перманганат калия (1—5); белый—ацетат свинца (1—5) и сульфат натрия (1—5); оранжевый—бихромат калия (0,5— 1) и нитрат серебра (5—10).

ГАЛЬВАНОСТЕГИЯ

После анодирования алюминия естественно будет перейти к очередным электрохимическим опытам, благо под рукой есть и электролитическая ванна, и источник тока, и ключ с реостатом. В этих экспериментах мы будем извлекать металл из раствора и наносить его на поверхность. Этот процесс называют гальваностегией, а покрытия — гальваническими. Кстати, анодирование алюминия тоже относится к гальваностегии.

Сначала поучимся наносить на стальную поверхность медь. Меднение очень распространено в промышленности, и не только как самостоятельный процесс, но и (пожалуй, даже чаще) как подготовительная операция перед покрытием другими, более прочными и нарядными пленками — хромовыми, никелевыми, серебряными. Причина в том, что медь, правильно нанесенная, очень прочно держится на стали и выравнивает шероховатости и дефекты его поверхности, а другие металлы, в свою очередь, хорошо осаждаются на медной пленке. Казалось бы, все просто: обработал стальную деталь раствором медного купороса, более активное железо вытеснило медь из раствора, и она осела на поверхность. Действительно, так и будет (можете проверить, опустив чистый гвоздь в раствор $CuSO_4$). Но слой меди на поверхности очень рыхлый — его легко стереть даже тряпкой. А при электрохимической обработке медный слой получается ровным и прочным.

Вот очень простой способ меднения. С одного конца мягкого многожильного провода снимите изоляцию и растеребите тонкие медные проволочки, чтобы получилась «кисть». Для удобства работы привяжите ее к деревянной палочке или карандашу, а другой конец провода подсоедините к положительному полюсу батарейки для карманного фонаря. Электролит—концентрированный раствор медного купороса, желательно слегка подкисленный, — налейте в широкую склянку, в которую удобно будет макать «кисть».

Подготовьте стальную пластинку или другой небольшой предмет, желательно с плоской поверхностью. Протрите его мелкой наждачной шкуркой и обезжирьте, прокипятив в растворе стиральной соды. Положите пластинку в ванночку или кювету и подсоедините ее проводом к отрицательному полюсу батарейки. Схема собрана, осталось только ввести электролит.

Обмакните «кисть» в раствор медного купороса и проведите ею вдоль пластинки, стараясь не дотрагиваться до поверхности; работайте так, чтобы между пластинкой и кистью был всегда слой электролита. Проводки все время должны быть смочены раствором. На глазах пластинка будет покрываться красным слоем металлической меди. На обработку маленькой детали уйдут считанные минуты. Если же поверхность побольше, то потребуется не только дополнительное время, но и дополнительная батарейка; соедините ее с первой параллельно. Когда покрытие нанесено, высушите деталь на воздухе и матовый слой меди натрите до блеска шерстяной или суконной тряпкой.

Кстати, этот опыт можно ставить и с алюминиевой, и с оцинкованной пластинкой. Такой процесс, при котором деталь не опускают в электролитическую ванну, а обрабатывают снаружи небольшими участками, добавляя все время электролит, порой

используют и на практике, особенно в тех случаях, когда деталь настолько велика, что для нее не подберешь подходящей ванны. Например, когда надо подновить покрытие на обшивке океанского корабля...

Впрочем, если детали невелики, их обычно все же погружают в ванну с электролитом — это быстрее и удобнее. Вот как это делают при никелировании стали, или, точнее, перед никелированием, ибо без предварительного меднения в этом случае не обойтись.

Металлический предмет, который вы решили покрыть никелем (пусть это будет водопроводный кран или табличка для двери), обработайте, как обычно, наждачной бумагой, чтобы удалить оксидную пленку, протрите щеткой, как следует промойте водой, обезжирьте в горячем содовом растворе и промойте еще раз. В банку или стакан опустите на проволочках (лучше медных) две медные пластинки — аноды. Между ними на проволочке же подвесьте деталь (все эти проволочки, напоминаем, удобнее всего обмотать вокруг карандаша и положить его на края банки). Те проволочки, которые идут от медных пластинок, соедините вместе и подключите к положительному полюсу источника тока, а деталь — к отрицательному; включите в цепь реостат или радиосопротивления на 200—300 Ом, чтобы регулировать ток, и миллиамперметр (тестер). Источник постоянного тока — две-три батарейки для карманного фонаря, соединенные параллельно, или аккумулятор с напряжением не более 6 В.

Раствор электролита — 20 г медного купороса и 2—3 мл серной кислоты на 100 мл воды — налейте в стакан, раствор должен полностью покрыть электроды. Пользуясь реостатом или подбирая сопротивления, установите ток от 10 до 15 мА на каждый квадратный сантиметр поверхности детали. Минут через двадцать выключите ток и выньте деталь — она покрыта тонким слоем меди. Электролит меднения не выливайте, он еще пригодится.

Далее — собственно никелирование. Приготовьте новый электролит (30 г сульфата никеля, 3,5 г хлорида никеля и 3 г борной кислоты на 100 мл воды) и налейте этот электролит в другой стакан. Для никелирования нужны никелевые электроды. Опустите их в электролит, соберите схему так же, как при меднении, и включите ток, вновь примерно на двадцать минут. Выньте деталь, промойте и просушите ее. Она покрыта сероватым матовым слоем никеля. Чтобы покрытие приобрело привычный блеск, его надо отполировать.

Электролит для хромирования содержит обычно хромовую кислоту. Но так как этой кислоты у вас, вероятно, нет, прибегнем к обходному маневру.

Вы уже получали зеленый хромовый пигмент. Если же вы не ставили тот опыт, то имейте в виду, что хромовый зеленый продается в магазинах. Сплавьте оксид хрома с содой на воздухе, т. е. нагрейте смесь в чистой металлической банке. Вы получили хромат натрия Na_2CrO_4. Растворите его в воде, профильтруйте и подкислите серной кислотой; в этом растворе можно проводить хромирование. Разумеется, если у вас есть готовый хромат натрия, готовить его излишне.

Небольшой предмет, который вы собираетесь хромировать, обработайте как обычно наждачной бумагой, обезжирьте, протравите слабым раствором кислоты и промойте. Он будет катодом, подсоедините его к отрицательному полюсу источника тока. Анод нужен инертный, например, графитовый. Разберите старую батарейку и извлеките из нее графитовый стержень.

Чтобы получить ток, достаточный для хромирования, надо взять аккумулятор либо несколько батареек для карманного фонаря. Время опыта и требуемый ток подберите самостоятельно. По окончании электролиза выньте деталь из электролита, тщательно промойте ее и отполируйте до блеска тряпочкой с зубным порошком.

ГАЛЬВАНОПЛАСТИКА

Еще один очень распространенный электрохимический процесс — гальванопластика, т. е. осаждение толстого, массивного слоя металла на поверхности какого-либо предмета, форму которого хотят воспроизвести, скопировать. Гальванопластику используют в тех случаях, когда у металлической детали очень сложная форма и обычными способами

(литьем или механической обработкой) ее трудно или невозможно изготовить. Так воспроизводят иногда скульптуры по моделям (колесница Аполлона на фронтоне Большого театра сделана гальванопластикой); так же кодируют с записи-эталона металлические формы, в которых прессуют грампластинки, в точности воспроизводя тончайший рельеф бороздок.

Если у вас не осталось раствора для меднения, то приготовьте его вновь. Возьмите кусок воска или парафина, очень тщательно разгладьте его поверхность, чтобы она стала по возможности плоской. На этом гладком участке процарапайте надпись, рисунок или узор. Советуем написать свои инициалы — тогда у вас получится монограмма. Писать удобнее всего иглой, только, пожалуйста, не оставляйте слишком глубоких царапин.

Мягкой кисточкой нанесите на поверхность с рисунком электропроводящий порошок. Можно, например, растолочь в ступке грифель простого карандаша или графитовый стержень батарейки. По краям рисунка прижмите к поверхности, покрытой графитом, тонкие оголенные медные проволочки (они будут служить токоотводами) и соедините их между собой. Восковой слепок подвесьте в стакан, налейте электролит, опустите медный электрод и соберите такую же схему, как и в опытах с меднением. Но в отличие от гальваностегии тут нужен намного меньший ток, примерно 5—10 мА. Поэтому придется передвинуть движок реостата или же подобрать другое радиосопротивление.

Включите ток и наберитесь терпения, потому что при таком токе медь будет осаждаться на графитированной поверхности по меньшей мере пять часов, если не больше, однако увеличивать ток не надо: качество работы будет гораздо хуже. Разомкните цепь и выньте из стакана восковой слепок. Осторожно опустите воск в горячую воду—он расплавится. А у вас в руках окажется тонкий медный листок с узором. Аккуратно оторвите от него проволочки-токоотводы. Точная копия рисунка получена.

Теперь можно перейти к весьма полезному делу: к изготовлению способом гальванопластики уникальных значков. Они будут только в вашей коллекции! Если же в кружке вы сделаете двадцать-тридцать сувениров, они долго будут напоминать вам и вашим товарищам о туристическом походе, о спортивных соревнованиях...

Советов художественного свойства давать не будем: эскиз придумайте сами. Не надо сложных значков: и делать труднее, и смотрятся они хуже. По эскизу вырежьте шаблон из тонкого картона — он должен повторять внешний контур значка. Положите шаблон на тонкую медную или латунную фольгу и аккуратно вырежьте по нему столько заготовок, сколько значков вы собираетесь сделать.

Ваша заготовка мягкая. Чтобы она стала жесткой, покройте ее слоем меди в гальванической ванне. В принципе вы уже умеете это делать; здесь вы найдете советы применительно к изготовлению значков.

Заготовки проткните у края иглой и пропустите в отверстие тонкую медную проволочку. Промойте заготовки, протрите бензином и зубным порошком, еще раз промойте и, держа за подвеску или с помощью пинцета, опустите на полминуты в разбавленный, примерно 5%-ный раствор азотной кислоты. Напоследок промойте в проточной воде и подвесьте на металлический стержень. Всю подвеску опустите в стакан с двумя медными пластинками-анодами (значки будут катодами). Листочки фольги должны быть расположены на разных уровнях, чтобы они не закрывали друг друга. В стакан налейте электролит! 25 г медного купороса и 1,5 мл серной кислоты на 100 мл воды, желательно дистиллированной. Источник тока — аккумулятор; можно использовать и трансформатор с выпрямителем. Ток в цепи около 10 мА на 1 см^2. Толщина медного слоя должна быть 0,5-0,8 мм.

Когда меднение закончено, промойте детали. Если вы решили сделать на значке рельефное изображение или надписи, наметьте их иглой. Ту часть поверхности, которую покрывать не надо, закройте тонким слоем клея БФ, лака или парафина, опустите заготовки в электролит и опять включите ток, чтобы открытые участки покрылись слоем меди — тогда они станут выпуклыми. После этого клей или парафин снимите.

Если сумеете, выгравируйте на значке надпись или изображение, и обязательно

припаяйте с обратной стороны булавку.

Наконец, придадим значку нарядный вид. Химическая окраска и никелирование вполне пригодны. Но еще лучше выглядят значки под старое серебро.

Заготовьте 2—3%-ный раствор нитрата серебра (можно растворить в воде аптечный ляписный карандаш). Небольшими порциями добавляйте соляную кислоту—три-четыре объема на один объем раствора. С выпавшего осадка хлорида серебра слейте раствор, осадок несколько раз промойте дистиллированной водой, сливая воду очень аккуратно, по стеклянной палочке, чтобы не терять хлорид серебра. К отмытому осадку добавьте небольшими порциями 30 %-ный раствор иодида калия до тех пор, пока осадок не растворится полностью. Долейте воду, чтобы довести объем раствора до первоначального. У вас должно быть столько же электролита для серебрения, сколько вы приготовили его для меднения.

В этот электролит погрузите значки (они вновь будут катодами). Анодами могут служить графитовые стержни, лучше из батареек, а не из карандашей, потому что их площадь должна быть немного больше площади значков. Плотность тока небольшая, около 1 мА/см^2.

Так на значках образуется слой серебра и, конечно, оно выглядит как новое. Однако не такая уж хитрость почернить значки под старое серебро... Водный раствор сульфида калия примерно 0,5—1%-ной концентрации нагрейте до 50 °С. Значки в этом растворе постепенно изменят цвет — они станут сначала серыми, потом синеватыми и, наконец, черными. Промойте значки и потрите их фетром или суконкой. Тогда выпуклые части посветлеют, остальная же поверхность останется черной, и значки будут выглядеть именно так, как изделия из старого серебра.

БЛАГОРОДНАЯ ПАТИНА

Благородную чернь на серебре вы уже научились делать экспресс-методом. Сейчас поучимся почти столь же быстро получать благородную патину.

Медные и бронзовые предметы во влажном воздухе постепенно покрываются зеленым налетом; зеленеют и темнеют старинные подсвечники и дверные ручки, каминные часы и бронзовые статуи на площадях. Образовавшийся на них налет — так называемая благородная, или античная, патина—весьма ценится любителями искусства.

Чтобы образовалась патина, необходимо длительное, в течение многих лет, воздействие воздуха, содержащего влагу и диоксид углерода (углекислый газ). В присутствии этих двух веществ образуется пленка основного карбоната меди, по составу близкая к широко известному минералу малахиту. Получить искусственно минерал нам не удастся — невозможно воспроизвести его плотную кристаллическую структуру. А вот на создание античной патины у нас уйдут не годы, а считанные минуты, ну, в крайнем случае, час-другой.

К небольшому медному предмету (а для прикидочного опыта еще лучше — к пластинке или куску медной фольги) присоедините проводок с зачищенными концами. Протрите поверхность, как вы поступали не раз, мелкой наждачной бумагой, положите предмет в горячий раствор стиральной соды, промойте водой и погрузите его в слабый раствор уксуса — это поможет избежать преждевременного окисления.

Тем временем займитесь приготовлением электролита: две чайные ложки хлорида аммония (нашатыря) на стакан воды. Не касаясь медного предмета руками, выньте его пинцетом (или за проводок) из уксусного раствора, промойте под краном и опустите в раствор нашатыря. Подключите проводок к положительному полюсу батарейки, а отрицательный ее полюс соедините с медным электродом — с любой медной пластинкой, которую можно не очищать столь тщательно. Вскоре катод, т. е. предмет, на который мы наносим патину, покроется красным матовым слоем. Но позвольте, мы рассчитывали на зеленый!

Не будем, однако, спешить. Минут через десять выньте предмет, не дотрагиваясь до него руками, и положите так, чтобы с него стекала вода, но поверхность при этом не

поцарапалась; можно подвесить его за проводок. Пройдет какой-нибудь час, и красный слой станет зеленым. Это красная патина на меди превратилась в зеленую, схожую с малахитом.

Еще большего эффекта можно достичь, если взять в качестве электролита раствор аммиака концентрацией около 25 %, но в этом случае надо работать под тягой или на свежем воздухе, так как у концентрированного раствора аммиака очень резкий запах. Подвесьте предмет так, чтобы часть его оказалась над электролитом. Тогда та часть, которая находится в растворе, останется красной, а та, что на воздухе, покроется за час с небольшим зелено-синей пленкой, очень похожей на настоящую благородную патину.

Не нужно спешить, ставя этот опыт, и увеличивать ток: чем медленнее идет процесс, тем прочнее слой основного карбоната меди. Но все равно, часы — это не годы, и по прочности нашей пленке далеко до естественной патины (хотя она и не менее красива). Чтобы сохранить ее, покройте зеленое покрытие каким-нибудь бесцветным лаком.

СТЕКЛО И ЭМАЛЬ

Значки, броши, различные украшения и многие предметы обихода покрывают эмалью — стеклом, нанесенным на металл. Вот и мы попробуем приготовить стекло. Для этих опытов необходима специальная печь. Уже по этой причине изготовлением стекла нельзя заниматься дома. Но, кроме того, нужны и навыки в работе с горячими расплавами, так что опыты, безусловно, надо проводить в присутствии старших.

На заводах и в химических лабораториях стекла получают из шихты — тщательно перемешанной сухой смеси порошкообразных солей, оксидов и других соединений. При нагревании в печах до очень высокой температуры, нередко выше 1500 °С, соли разлагаются до оксидов, которые, взаимодействуя между собой, образуют силикаты, бораты, фосфаты и другие устойчивые при высоких температурах соединения. Вместе они и составляют стекло.

Мы будем готовить так называемые легкоплавкие стекла, для которых достаточно лабораторной электрической печи с температурой нагрева до 1000 °С. Еще понадобятся тигли, тигельные щипцы (чтобы не обжечься) и небольшая ровная плита, стальная или чугунная. Сначала мы сварим стекло, а потом найдем ему применение.

Перемешайте шпателем на листе бумаги 10 г тетрабората натрия (буры), 20 г оксида свинца и 1,5 г оксида кобальта, просеянных через сито. Это и есть наша шихта. Пересыпьте ее в небольшой тигель и уплотните шпателем так, чтобы получился конус с вершиной в центре тигля. Уплотненная шихта должна занять в тигле не более трех четвертей объема, тогда стекло не будет проливаться. Щипцами поставьте тигель в электропечь (тигельную или муфельную), нагретую до 800—900 °С, и подождите, пока шихта не сплавится. Об этом судят по выделению пузырьков: как только оно прекратилось, стекло готово. Достаньте тигель щипцами из печи и сразу же вылейте расплавленное стекло на стальную или чугунную плиту с чистой поверхностью. Остывая на плите, стекло образует слиток сине-фиолетового цвета.

Чтобы получить стекла других цветов, замените оксид кобальта другими окрашивающими оксидами. Оксид железа(ПI) (1—1,5 г) окрасит стекло в коричневый, оксид меди(П) (0,5—1 г)—в зеленый, смесь 0,3 г оксида меди с 1 г оксида кобальта и 1 г оксида железа (III)—в черный цвет. Если же взять только борную кислоту и оксид свинца, то стекло останется бесцветным и прозрачным. Поэкспериментируйте сами с другими оксидами, например, хрома, марганца, никеля, олова.

Стекло измельчите пестиком в фарфоровой ступке, Чтобы не пораниться осколками, обязательно обмотайте руку полотенцем, а ступку с пестиком прикройте чистой тряпкой.

Ссыпьте мелкий стеклянный порошок на толстое стекло, добавьте немного воды и разотрите до сметанообразного состояния курантом — стеклянным или фарфоровым диском с ручкой. Вместо куранта можно взять маленькую плоскодонную ступку или полированный кусок гранита — так поступали старые мастера, когда растирали краски. Полученную массу называют шликером. Его мы будем наносить на поверхность алюминия примерно так же, как это делают, изготовляя украшения.

Очистите поверхность алюминия наждачной бумагой и обезжирьте кипячением в

содовом растворе. На чистой поверхности прочертите скальпелем или иглой контур рисунка. Поверхность с помощью обычной кисточки покройте шликером, просушите над пламенем, а потом нагревайте в том же пламени до тех пор, пока стекло не наплавится на металл. У вас получится эмаль. Если значок невелик, его можно покрывать слоем стекла и нагревать в пламени целиком. Если же изделие более крупное (скажем, табличка с надписью), то надо разбить его на участки и наносить стекло на них поочередно. Чтобы цвет эмали был более интенсивным, нанесите стекло повторно. Таким способом можно получать не только украшения, но и надежные эмалевые покрытия для защиты алюминиевых деталей во всевозможных приборах и моделях. Так как в этом случае эмаль несет дополнительную нагрузку, металлическую поверхность после обезжиривания и промывки желательно покрыть плотной оксидной пленкой; для этого достаточно подержать деталь 5—10 мин в печи с температурой чуть ниже 600 °С.

Разумеется, на большую деталь шликер удобнее наносить не кисточкой, а из пульверизатора или просто поливом (но слой должен быть тонким). Подсушите деталь в сушильном шкафу при 50 — 60 °С, а затем перенесите в электропечь, нагретую до 700 — 800 °С.

А еще из легкоплавких стекол можно приготовить окрашенные пластинки для мозаичных работ. Куски битой фарфоровой посуды (их вам всегда дадут в посудном магазине) облейте тонким слоем шликера, просушите при комнатной температуре или в сушильном шкафу и наплавьте стекло на пластинки, выдерживая их в электропечи при температуре не ниже 700 °С.

Освоив работу со стеклом, вы можете помочь своим коллегам из биологического кружка: там нередко изготовляют чучела животных, а для чучел нужны разноцветные глаза...

В стальной плите толщиной около 1,5 см высверлите несколько углублений разных размеров с коническим или сферическим дном. Тем же способом, что и прежде, сплавьте разноцветные стекла. Гаммы, пожалуй, хватит, а чтобы изменить интенсивность, чуть увеличьте или уменьшите содержание окрашивающей добавки.

Небольшую каплю яркого расплавленного стекла поместите в углубление стальной плиты, затем налейте стекло цвета радужной оболочки. Капля войдет в основную массу, но не смешается с ней,— так будут воспроизведены и зрачок, и радужная оболочка. Охлаждайте изделия медленно, не допуская резких перепадов температур. Для этого затвердевшие, но еще горячие «глаза» достаньте из формы подогретым пинцетом, положите в рыхлый асбест и уже в нем охладите до комнатной температуры.

Конечно, легкоплавким стеклам можно найти и другие применения. Но не лучше ли будет, если вы поищете их сами?

И в завершение опытов со стеклом, пользуясь все той же электропечью, попытаемся превратить обыкновенное стекло в цветное. Естественный вопрос: нельзя ли таким способом сделать солнечные очки? Можно, но вряд ли это удастся вам с первого раза, потому что процесс капризен и требует некоторых навыков. Поэтому беритесь за очки только после того, как потренируетесь на кусочках стекла и убедитесь, что результат соответствует ожиданиям.

Основой краски для стекла будет канифоль. Из резинатов, солей кислот, входящих в состав канифоли, вы ранее готовили сиккативы для масляных красок. Вновь обратимся к резинатам, потому что они способны образовывать на стекле тонкую ровную пленку и служить носителями красящего вещества,

В растворе едкого натра концентрацией около 20 % растворяйте при помешивании и помня, конечно, об осторожности, кусочки канифоли до тех пор, пока жидкость не станет темно-желтой. Отфильтровав, добавьте немного раствора хлорида железа $FeCl_3$ или другой соли трехвалентного железа. Имейте в виду, что концентрация раствора должна быть небольшой, соль нельзя брать в избытке — осадок гидроксида железа, который в этом случае образуется, нам помешает. Если же концентрация соли невелика, то образуется красный осадок резината железа — он-то там и нужен.

Отфильтруйте красный осадок и высушите его па воздухе, а затем растворите до насыщения в чистом бензине (не автомобильном, а бензине-растворителе) еще лучше было бы взять гексан или петролейный эфир. Кисточкой или пульверизатором окрасьте поверхность стекла тонким слоем, дайте подсохнуть и положите на 5—10 мин в печь, нагретую примерно до 600 °С. Но канифоль относится к органическим веществам, а им такую температуру не выдержать! Правильно, но именно это и нужно — пусть органическая основа выгорит. Тогда на стекле останется тончайшая пленка оксида железа, хорошо сцепленная с поверхностью. И хотя оксид в общем-то непрозрачен, в столь тонком слое он пропускает часть световых лучей, т. е. может служить светофильтром.

Возможно, светозащитный слой покажется вам слишком темным или, напротив, излишне светлым. В таком случае поварьируйте условия опыта — чуть увеличьте или уменьшите концентрацию раствора канифоли, измените время и температуру обжига. Если же вас не устраивает цвет, в который скрашено стекло, замените хлорид железа хлоридом другого металла, но непременно такого, оксид которого ярко окрашен, например хлоридом меди или кобальта.

А когда технология тщательно отработана на кусочках стекла, можно без особого риска совершить превращение обычных очков в солнечные. Не забудьте только вынуть стекла из оправы — пластмассовая оправа не выдержит нагревания в печи точно так же, как канифольная основа...

САМОДЕЛЬНЫЙ ПЛАСТИЛИН

Конечно, пластилин можно купить в магазине. Ну и что из этого? Радиоприемник тоже купить можно, однако сколько людей корпят над радиосхемами!

Для самодельного пластилина единственным дефицитным сырьем окажется, видимо, олеиновая кислота $C_{17}H_{33}COOH$. Впрочем, она есть, наверное, в школьной лаборатории (и вообще это очень распространенная кислота, входящая в состав почти всех жиров). Из нее мы получим цинковую соль — олеат цинка. К 35 частям (по массе) нагретой олеиновой кислоты прибавьте небольшими порциями 5 частей сухих цинковых белил (можно взять самодельный пигмент). Каждую новую порцию белил вносите лишь после того, как исчезнет пена от прибавления предыдущей. Если цинковых белил у вас не оказалось, можно заменить их обычным мелом — тогда у вас получится олеат кальция. Правда, качество пластилина будет несколько хуже.

К полученному сиропообразному олеату прибавьте при постоянном перемешивании 18 частей смеси равных количеств масла и воска. Чтобы ее приготовить, расплавьте воск и добавьте к нему, энергично перемешивая, жидкое масло, например вазелиновое. Еще раз подчеркиваем — все компоненты надо тщательно перемешивать, от этого во многом зависит качество готового пластилина. Что касается воска, то лучше бы взять природный, пчелиный, но в крайнем случае его можно заменить стеарином (только не парафином). Стеарин же можно без труда приготовить из хозяйственного мыла, как было описано в разделе «Первые опыты».

Когда смесь олеата, масла и воска (или стеарина) будет готова, добавьте к ней 23 части серы, измельченной в тонкую пудру (можно взять аптечный препарат), 15 частей сухой мелкой глины, просеянной через сито, и еще 4 части какой-либо минеральной краски. Можно, например, взять мумию (оксид железа Fe_2O_3)—вы уже умеете готовить это вещество (не забудьте об интенсивном и постоянном перемешивании). Еще раз тщательно размешайте готовую смесь и раскатайте скалкой на листе фанеры или жести. Пластилин готов.

Вот только какая неприятность: у олеата цинка запах не из лучших. Но его можно заглушить отдушкой. Смешивая исходные продукты, добавьте немного (несколько капель) приятно пахнущего вещества, например розового или лавандового масла, или хотя бы одеколона.

ПОСЕРЕБРИМ ЗЕРКАЛО!

Возможно ли это? Зеркала серебрят на специальных фабриках, в зеркальных мастерских. Ремесло это древнее, с традициями и профессиональными секретами — нелегко

изготовить хорошее зеркало. И все же — попробуем!

Конечно, зеркальную поверхность можно приготовить без труда,— реакцию «серебряного зеркала» ставят в школе на уроках. Но хорошего зеркала не получится, поблестит немного — и все. Нет, тут речь пойдет о настоящем зеркале. И оно у вас непременно получится, если вы будете работать аккуратно и не пренебрегать мелочами.

Важное предупреждение: работайте только с дистиллированной водой. Порошок «крокус» — специально приготовленный оксид железа(III)—просейте через мелкое сито и полученную пыль разведите дистиллированной водой. Если у вас нет «крокуса», можно взять какую-либо готовую полировальную жидкость, они продаются в хозяйственных магазинах. Ровное стекло, которое вы собираетесь сделать зеркальным, положите на стол. Проверьте уровнем, горизонтальна ли поверхность стола, и если нет, подложите под ножки сложенные листки бумаги, чтобы выровнять поверхность. Не берите большое стекло, начинать лучше с малого. Чтобы случайно не раздавить его, положите на стол, например, старое одеяло.

Налейте полировальную жидкость на стекло и тщательно протирайте его круговыми движениями с помощью войлока, фетра (можно взять старую шляпу) либо куска мягкой кожи. Потрите стекло марлей, смоченной взвесью тонко размолотой и просеянной пемзы в воде, еще раз промойте дистиллированной водой, протрите влажной губкой, а затем марлевым тампоном, смоченным в 0,15 %-ном растворе хлорида олова (IV), опять промойте и протрите отжатым тампоном. Подготовка стекла закончена. Это очень важная процедура. От того, насколько тщательно вы ее выполнили, зависит качество будущего зеркала.

Обработанную поверхность надо сразу же серебрить. Если вы почему-либо не успели приготовить раствор для серебрения, то опустите стекло в теплую дистиллированную воду и не вынимайте из нее, пока все не будет готово. Кстати, такая операция полезна во всех случаях: хорошо, если стекло градусов на 8—10 теплее, чем раствор для серебрения.

Этот раствор необходимо готовить только в резиновых перчатках. Его получают, смешивая два раствора, каждый из которых готовят отдельно. Мы укажем количества веществ на литр раствора, а вы прикиньте сами, сколько раствора вам требуется.

Первый раствор: 4 г нитрата серебра, 10 мл 25%-ного раствора аммиака, 4 г едкого натра. Порядок приготовления раствора не совсем обычен. Весь нитрат серебра растворите в 300 мл воды, 9/10 раствора отлейте в чистый стакан и добавьте по каплям раствор аммиака, все время перемешивая жидкость стеклянной палочкой. Мутная жидкость будет становиться все более прозрачной, и, наконец, окраска исчезнет. Прибавьте немного раствора нитрата серебра — раствор вновь станет мутным. Добавьте раствор едкого натра, тогда раствор примет светло-коричневый оттенок. Вновь по каплям прибавляйте раствор аммиака, и раствор опять посветлеет, теперь он кажется слегка синеватым. Влейте оставшийся раствор нитрата серебра и аммиак, как следует размешайте и долейте дистиллированную воду до литра.

Если придется хранить этот раствор, то перелейте его в бутылку или склянку с хорошо подогнанной пробкой. В открытой посуде раствор хранить нельзя! Второй раствор: на литр раствора—100 г сахара-рафинада и 10 мл разбавленной (примерно 10 %-ной) серной или азотной кислоты. Сахар заранее растворите в дистиллированной воде, добавьте кислоту, покипятите четверть часа и долейте воду до расчетного объема.

Смешайте оба раствора: на один миллилитр второго раствора (с сахаром) возьмите примерно 100 мл первого раствора (с нитратом серебра). Точное соотношение придется подобрать на опыте. Если будет избыток сахарного раствора, то при серебрении начнут выпадать хлопья; если же, напротив, этот раствор в недостатке, то серебрение пойдет слишком медленно. Полученную смесь быстро и тщательно размешайте; сначала она станет оранжево-красной, а затем почернеет. Это сигнал: пора приступать к серебрению. Не упустите момент!

Сразу вылейте смесь на стекло. Она растечется по всей поверхности, и стекло станет темным, но потом быстро начнет светлеть, на нем образуется слой металлического серебра,

которое восстанавливается из нитрата. Через 5—10 мин осторожно сгоните смесь со стекла с помощью марли (а еще лучше — кусочка замши), смоченной в дистиллированной воде, вновь налейте смесь и подержите ее еще четверть часа. Уже посеребренную поверхность промойте дистиллированной водой. Если на стекле окажутся темные пятна, их надо протереть тампоном со смесью пемзы, затем раствором хлорида олова (IV), снова налить на эти места смесь и промыть водой.

Чтобы проверить, достаточно ли осадилось серебра на стекле, посмотрите сквозь зеркало на лампу мощностью 60 Вт — она должна быть едва видна сквозь посеребренное стекло.

Серебряный слой еще недостаточно прочно держится на стекле. Чтобы укрепить его, поставьте зеркало в вертикальном положении на час-другой нагреваться при температуре 100—150 °С. Воспользуйтесь сушильным шкафом, в крайнем случае — несильно нагретой духовкой. Когда зеркало остынет, покройте серебряную пленку водостойким прозрачным лаком из пульверизатора (кисть может ее повредить). После высыхания нанесите поверх лака толстый слой непрозрачной краски или черного битумного лака. Водите кистью или направляйте струю из пульверизатора только в одном направлении: либо сверху вниз, либо слева направо.

Зеркало почти готово. Осталось лишь привести в порядок его лицевую, непосеребренную сторону. На ней могут оказаться затеки серебра; удалите их тампоном, смоченным слабым раствором соляной кислоты. Если вы запачкали руки, то удалите пятна слегка подогретым раствором гипосульфита и хорошенько вымойте руки теплой водой.

Много ли серебра пошло на изготовление зеркала? И сколько серебра в настоящем зеркале? Вопросы вроде бы нехитрые, но ответить на них не так-то легко. Пленка серебра настолько тонка, что даже будь у вас микрометр, ее не измерить...

Чтобы не портить хорошее зеркало, возьмите какой-нибудь осколок, удалите слой лака и краски ватой, смоченной ацетоном, и положите на посеребренную поверхность небольшой кристаллик йода. Уже при комнатной температуре йод довольно быстро испаряется, его пары растекаются по стеклу, потому что они намного тяжелее воздуха. Чтобы их не разогнал случайный сквозняк, накройте кристаллик перевернутым стаканом.

При взаимодействии йода с серебром образуется иодид серебра, и возле кристаллика медленно расплывается прозрачное пятно: иодид в тонком слое прозрачен. А у краев прозрачного пятна серебряная пленка не исчезает, но становится тоньше. И в результате на зеркале появляются окрашенные кольца, которые видно особенно хорошо в отраженном свете.

Кольца кажутся цветными по той же причине, по которой нам кажутся радужными мыльные пузыри и масляные пятна на воде. Явление это называется интерференцией света в тонких пленках, его изучают в курсе физики. Для нас самое важное вот что: чем больше колец, тем толще серебряная пленка. Если их два, то толщина пленки около 0,03 мкм, три кольца соответствуют 0,06 мкм, четыре — 0,09, пять — 0,12, шесть — 0,15, семь — 0,21 мкм.

Зная толщину серебряного слоя, легко подсчитать и количество серебра: надо лишь умножить толщину на площадь зеркала и полученный объем еще раз умножить на плотность серебра (10,5 г/см^3).

Вот ориентир для проверки расчета: зеркало площадью около квадратного метра содержит чуть больше грамма серебра.

5

ЛОВКОСТЬ РУК

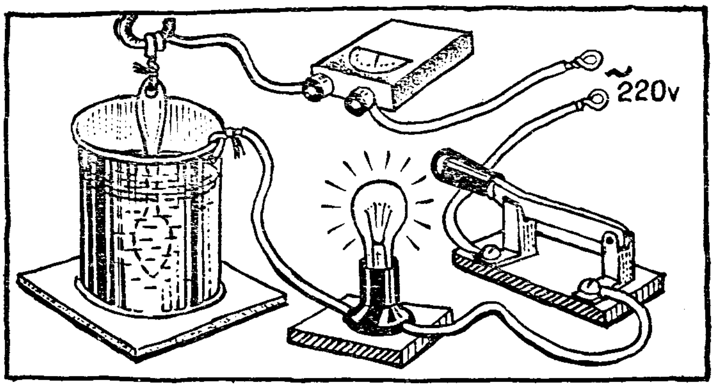
Нас окружает множество вещей и веществ, которые кажутся обыденными и ничем не примечательными. Однако очень часто они обладают удивительными свойствами — надо только суметь их заметить. Скажем, алюминиевой ложкой можно выпрямлять переменный ток, спичкой — зажечь

электрическую лампочку, сахаром-рафинадом — высечь искры, а марганцовкой из аптеки — начистить до блеска кастрюлю. Но для этого надо, во-первых, знать свойства веществ и, во-вторых, уметь этими свойствами пользоваться, иными словами, необходима ловкость рук, приобретаемая с опытом. И, как в старые времена говорили фокусники,— никакого мошенничества!

Итак, займемся фокусами — серьезными химическими фокусами. Иногда — для забавы, но чаще — для демонстрации необычных явлений и изготовления необычных вещей.

ЛОЖКА-ВЫПРЯМИТЕЛЬ

Для этого опыта годится любая алюминиевая ложка — чайная или столовая. Ее надо тщательно вымыть и обезжирить; как это сделать, вы знаете из опытов с анодированием алюминия. Ложка будет первой деталью будущего выпрямителя тока, а второй нам пока послужит пустая консервная банка, высотой примерно с ложку, во всяком случае, не намного ниже.



Жестяную банку вымойте с мылом или стиральным порошком, ополосните и заполните раствором для анодирования алюминия: на 100 мл воды — 20 мл серной кислоты (осторожно!). Кислоту можно заменить, карбонатом аммония $(NH_4)_2CO_3$ (10 г) или в крайнем случае пищевой содой, растворив ее в воде до насыщения. Вода должна быть дистиллированная, годится и чистая дождевая.

Прежде чем опускать ложку в банку, прикиньте, до какого места ложки будет доходить раствор. На границе раствор — воздух алюминий будет интенсивно растворяться, и ложка скоро развалится на две части. Чтобы этого не произошло, участок вблизи границы покройте слоем лака или водостойкого клея.

Теперь подвесьте ложку в банке так, чтобы она не касалась стенок; устройство подвески вы, наверное, без труда придумаете сами. Под банку положите кафельную плитку или любую другую не проводящую электричество подставку. На этот раз мы будем пользоваться не батарейками или аккумулятором, а переменным током от сети, и, естественно, надо полностью себя обезопасить. По той же причине самым тщательным образом изолируйте все оголенные концы проводов, а во время опыта не прикасайтесь ни к ложке, ни к банке. Лучше всего, если перед включением тока вы накроете их перевернутым фанерным ящиком или пластмассовым ведерком.

Электрическая схема проста: включите в цепь последовательно лампу мощностью около 40—60 Вт, переключатель, ложку и банку; если есть амперметр, можно подсоединить и его. Когда схема собрана и надежность изоляции проверена, включайте ток.

Сначала, как вы и догадываетесь, лампа загорится, потому что раствор в банке электропроводен. Но примерно через полчаса она станет светить заметно слабее, а потом и вовсе погаснет. Ложка стала выпрямителем. Она пропускает ток только в одном направлении — от банки к ложке.

В этом было бы легко убедиться, будь у вас осциллограф: на его экране в начале опыта светилась бы синусоида, а в конце нижняя ее ветвь исчезла бы: в цепи течет так называемый импульсный ток. Осциллограф помог бы сразу установить, где положительный полюс выпрямителя, а где отрицательный (это очень важно, если вы собираетесь ставить с самодельным выпрямителем электрохимические опыты). Но можно обойтись и без приборов: полярность выпрямителя легко установить, пользуясь полоской фильтровальной бумаги, смоченной слабым раствором поваренной соли с добавкой индикатора фенолфталеина.

Отключите ток, прижмите листок к ложке и к банке и закрепите его, например, пластмассовыми бельевыми прищепками. Включите ток, и несколько минут спустя фильтровальная бумага покраснеет у одного из полюсов. Этот полюс — отрицательный. При электролизе воды (соль нужна только затем, чтобы увеличить электропроводность) на отрицательном электроде (катоде) выделяется водород, а ионы OH^- остаются в избытке. Эти ионы и обусловливают щелочные свойства, поэтому индикаторная бумага краснеет.

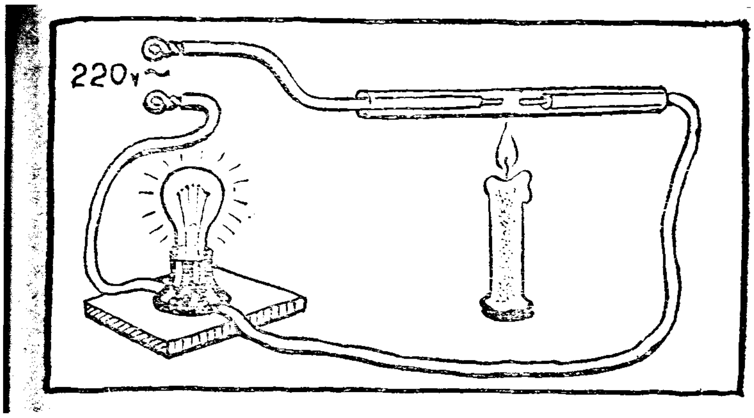
Такое же испытание влажной индикаторной бумагой с солью и фенолфталеином можно провести и в том случае, если вы перепутали полюса аккумулятора или батарейки. Так как здесь напряжение невелико, полоску бумаги можно просто прижать руками к обоим полюсам источника тока.

Но отчего алюминиевая ложка стала выпрямителем? После включения тока на ней, как и при анодировании алюминия, растет пленка оксида алюминия. А эта пленка — полупроводник: пропускает ток только в одном направлении. Это ее свойство нередко используют в технике.

С помощью самодельного выпрямителя можно ставить некоторые электрохимические опыты, которые описаны в этой книге. Но в соответствии с условиями опыта включайте выпрямитель через понижающий трансформатор. Напряжение ни в коем случае не должно превышать 40 В. А ток, который можно снимать с алюминиевой ложки, может достигать нескольких десятков ампер.

Но обязательно ли брать для выпрямителя ложку и консервную банку? Разумеется, нет. Вместо ложки можно взять алюминиевый электрод любой формы, вместо банки — железный, свинцовый или графитовый электрод и погрузить их в стеклянный сосуд, в который налит раствор электролита. Более того, так мы и советуем вам поступить, если вы решите использовать самодельный выпрямитель на практике. Но если вы собираетесь продемонстрировать, как оксид алюминия выпрямляет переменный ток, то ложка с банкой выглядят гораздо эффектнее...

ЗАЖГИТЕ ЛАМПУ СПИЧКОЙ!



Для этого опыта удобнее взять настольную лампу. Один из ее проводов отсоедините от вилки и удлините, не забывая о хорошей изоляции.

Возьмите небольшую узкую стеклянную трубку с тонкими стенками (проще всего воспользоваться стеклянными рейсфедерами с оттянутыми концами). Вставьте в трубку с двух концов электроды — проводки диаметром около 1 мм; закрепите их в трубке изоляционной лентой. Электроды не должны соприкасаться, расстояние между ними 1—2 мм.

Удлиненный провод от лампы присоедините к одному из электродов, а другой электрод соедините проводом со свободным гнездом вилки и изолируйте. У вас получится цепь, разомкнутая в одном участке — между электродами. Закрепите стеклянную трубку в горизонтальном положении. Это совсем просто сделать, если провода жесткие, с пластмассовой изоляцией: зажмите провод, и трубка будет на нем держаться. Подготовка к опыту закончена, можно включать вилку в сеть. Лампа, конечно, гореть не будет.

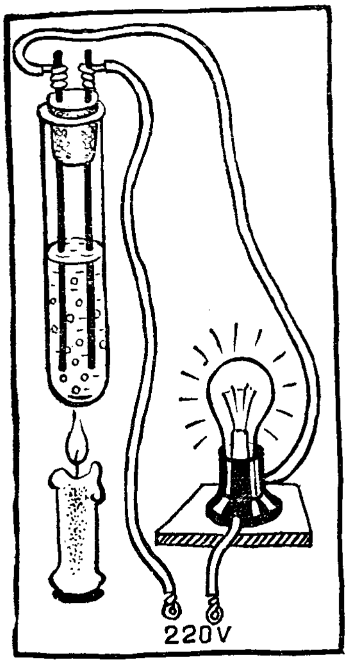
Поднесите к трубке, в которую вставлены электроды, зажженную спичку. Если трубка из не тугоплавкого стекла, то стекло размягчится и трубка при этом чуть-чуть провиснет. И тут же загорится лампа, несмотря на то, что цепь по-прежнему остается разомкнутой. Дело в том, что соли, входящие в состав стекла, при нагревании ионизируются,

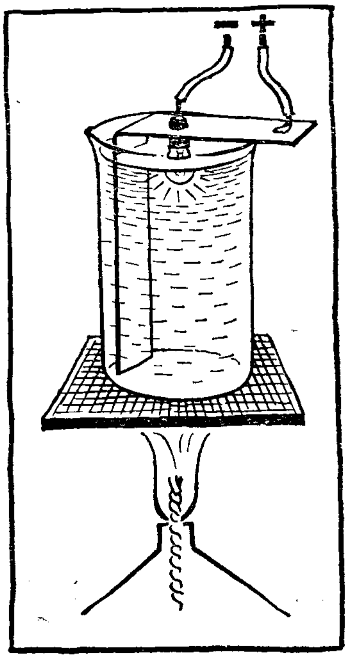
и стекло становится проводником.

Если опыт не получается из-за того, что трубка широка, то вместо спички возьмите свечку или спиртовку. Зажечь лампу свечкой — тоже эффектный опыт.

А еще можно ее зажечь с помощью расплавленной селитры. Закрепите вертикально пробирку, на дно которой насыпано немного калиевой или натриевой селитры (нитрата калия или натрия), и опустите в нее две медные проволочки. Чтобы медные электроды не соприкасались, пропустите их сквозь пробку. Подсоедините к электродам лампу так же, как в предыдущем опыте. Когда вы включите ток, лампа, естественно, не загорится: твердая селитра ток не проводит.

Нагрейте селитру до плавления с помощью таблеток сухого горючего — лампа вспыхнет. Ионы, составлявшие кристаллическую решетку соли, приобретают подвижность, и цепь замыкается. Лампа будет гореть и после того, как вы уберете пламя: у расплава селитры высокое электрическое сопротивление, и то тепло, которое выделяется при прохождении тока, поддерживает селитру в расплавленном состоянии.





Подобным образом можно поставить опыт не с расплавом, а с раствором, например, поваренной соли. Электроды в этом случае лучше взять графитовые. Погрузите их сначала просто в банку с водой, а потом небольшими порциями добавляйте соль, и лампа будет разгораться все ярче.

Между прочим, таким способом удобно проверять электропроводность растворов. Проверьте, например, как проводят ток растворы соды, сахара и уксусной кислоты разной концентрации.

И еще один, не вполне обычный опыт с электрической лампочкой, но не с большой, а от карманного фонаря. Укрепите ее в полоске жести, согнутой под прямым углом, и вставьте полоску в небольшой химический стакан так, чтобы стеклянный баллон лампочки оказался внутри стакана и был обращен к его дну. Подключите лампочку к батарейке: выступ на цоколе, самый крайний его участок соедините с отрицательным полюсом, а полоску жести — с положительным. Обратите внимание: припаивать проводники нельзя, потому что во время опыта припой может расплавиться. Надо придумать механический контакт или же использовать патрон от старого карманного фонаря.

До начала опыта выньте лампу из стакана и насыпьте в него нитрат натрия (нитрат калия в этом случае не годится; почему — станет ясно позже). Поставьте стакан на асбестовую сетку или металлическую пластинку и нагрейте его на пламени газовой горелки или спиртовки; сухой спирт не очень удобен, так как трудно регулировать температуру расплава. Селитра плавится при 309 °С, а при 390 °С уже разлагается; вот в таком интервале и придется поддерживать температуру. Для этого изменяйте либо размер пламени, либо расстояние до стакана. Следите, чтобы расплав не застывал, даже с поверхности.

В расплавленную селитру осторожно опустите лампочку. Большая часть стеклянного баллона должна быть погружена в расплав, но следите за тем, чтобы верхняя часть цоколя, к которой припаян проводник, не соприкоснулась с селитрой — произойдет короткое замыкание. Зажженную лампочку подержите в селитре около часа, потом отключите ток, погасите горелку и аккуратно доставьте лампочку. Когда она остынет, промойте ее водой, и

вы увидите, что лампочка изнутри покрыта зеркальным слоем!

Мы уже говорили, что при нагревании заряженные частицы в стекле приобретают подвижность (поэтому и зажглась лампа, когда трубку нагревали спичкой). Главные действующие лица—ионы натрия: уже при температуре выше 300 °С они становятся достаточно подвижными. Само стекло остается при этом совершенно твердым.

Когда вы погрузили включенную лампочку в расплав селитры, то стекло, из которого сделан баллончик, оказалось в электрическом поле: спираль — отрицательный полюс, расплав, который соприкасается с полоской жести,— положительный. Подвижные ионы натрия начали двигаться в стекле в сторону катода, т. е. по направлению к спирали. Иными словами, они перемещались к внутренней стенке баллона.

Значит, зеркальный налет изнутри натриевый? Да. Но как же ионы превратились в металл?

Раскаленные металлы (в том числе и те, из которых изготовлена спираль) испускают электроны. От спирали они попали на внутреннюю поверхность стекла и соединились там с ионами натрия. Так образовался металлический натрий.

Но почему для опыта не годится калиевая селитра? Ведь нитрат вроде бы и не участвует в процессе... Нет, участвует. Когда ион натрия стал нейтральным атомом, в стекле осталась отрицательно заряженная ионная дырка. Тут и нужна натриевая селитра: из ее расплава под действием электрического поля в стекло проникают ионы натрия и заполняют дырки. А ионы калия примерно в полтора раза больше ионов натрия, они не смогут войти в стекло. В калиевой селитре лампа просто треснет.

Такой необычный электролиз через стекло иногда применяют на практике, чтобы получить слой очень чистого натрия, или, более строго, — спектрально чистого.

ДОЛГАЯ ЖИЗНЬ БАТАРЕЙКИ

Представьте, что случилось такое: вы принялись за электрохимический опыт, собрали цепь — а батарейка вдруг «села», и запасной батарейки нет. Как быть? Но это еще полбеды. Гораздо хуже, когда карманный фонарик гаснет темным вечером, да еще в лесу. И как обидно, если батарейки транзисторного приемника отказывают как раз в ту минуту, когда по радио передают вашу любимую песню, или во время трансляции футбольного матча. Но что уж тут поделаешь...

А между тем кое-что предпринять можно. Если запасной батарейки нет, не спешите выбрасывать старую, а попробуйте ее «оживить».

Многие современные батарейки — «Крона», «Марс», «Сатурн», КБС и другие — состоят из элементов марганцево-цинковой системы. При работе отрицательный электрод этих батареек — цинковый стаканчик — постепенно, но очень медленно, растворяется, а положительный электрод—диоксид марганца MnO_2, восстанавливается до гидроксида трехвалентного марганца (его формулу можно представить как MnOOH). Он постепенно покрывает зерна оксида, проникает вглубь зерен и закрывает доступ электролиту. Еще и половина оксида марганца не использована, а элемент уже перестает работать; цинка же к тому времени остается еще больше, до четырех пятых! Словом, почти годную батарейку приходится выбрасывать.

Но если снять «скорлупу» MnOOH, то электролит вновь сможет поступать к зернам и батарейка оживет. Только как ее снять? Самый простой способ: постучать по батарейке как следует молотком или камнем. Тогда зерна внутри элементов расколются, и электролит снова сможет в них проникнуть. Этот способ не ахти как хорош, но в лесу, пожалуй, лучшего не найти...

Если же батарейка отказала дома, то активировать диоксид марганца можно гораздо эффективнее. В цинковом стаканчике батарейки пробейте гвоздем отверстие и опустите батарейку в воду. Электролит в элементе не жидкий (это было бы неудобно), а загущенный. Он размокает в воде, разжижается, и ему легче проникнуть к зернам диоксида марганца. Этот нехитрый прием позволяет увеличить срок службы батарейки почти на треть. Но его можно еще более упростить.

Заливать батарейку водой совсем необязательно. Достаточно только пробить отверстие в цинковом стаканчике. Оксид марганца в элементе смешан с графитовым порошком — это нужно для того, чтобы увеличить электропроводность. Как только воздух начнет поступать внутрь, графит будет поглощать кислород, и наряду с диоксидом марганца появится еще один положительный электрод—так называемый воздушный, на котором кислород восстанавливается. Словом, простой гвоздь превращает марганцево-цинковый элемент в воздушно-цинковый!

Справедливости ради скажем, что после такой процедуры батарейка будет разряжаться малым током—таковы уж свойства самодельного воздушно-цинкового элемента. Зато служить будет очень долго.

И последнее: сделаем так, что старая батарейка станет почти совсем как новая. Для этого батарейку надо зарядить электрическим током, т. е. поступить с ней так же, как с аккумулятором. Реакция, идущая в батарейке, обратима, и MnOOH может вновь превратиться в MnO_2.

Заметьте, что подзаряжать можно не все батарейки, а только те, в которых не засохла паста и корпус не поврежден. И заряжать надо не обычным постоянным током, как заряжают аккумуляторы. В этом случае цинк станет осаждаться на корпусе батарейки в виде разветвленных нитей—дендритов, и очень скоро это приведет к тому, что произойдет короткое замыкание и батарейка выйдет из строя. Заряжать ее надо так называемым асимметричным током. Чтобы получить его, надо выпрямлять переменный ток не полностью, например: включить в цепь диод-выпрямитель и параллельно ему — сопротивление (около 50 Ом). Напряжение источника должно быть около 12 В, поэтому использовать ток непосредственно от сети нельзя, нужен понижающий трансформатор.

Марганцево-цинковые элементы можно заряжать до трех раз, их емкость при этом падает совсем незначительно. А маленькие, так называемые пуговичные элементы (в них использована ртутно-цинковая система) можно подзаряжать до десяти раз. Но пробивать их гвоздем или стучать по ним молотком нет смысла—в этих элементах после разряда практически не остается активных веществ.

ИСТОЧНИКИ ТОКА ИЗ ПОДРУЧНЫХ СРЕДСТВ

Чтобы оживить старую батарейку, действительно требуется ловкость рук. Но. в еще большей степени она будет вам нужна, если вы решите изготовить самодельный источник тока. Он может пригодиться для различных электрохимических опытов, например с анодированием алюминия или с никелированием.

Есть множество химических источников тока, но, пожалуй, самый простой в изготовлении — элемент Грене. Для него нужны две пластинки — цинковая и угольная такого размера, чтобы они входили в стеклянную банку. Подберите к ней полиэтиленовую крышку, проколите ее в двух местах шилом и пропустите в отверстия проволочки. На этих проволочках подвесьте пластинки-электроды так, чтобы они не касались друг друга.

Электролитом будет служить водный раствор, содержащий 16 % серной кислоты и 12 % бихромата калия (хромпика). Когда вы будете готовить раствор, лейте, как всегда, кислоту в воду и будьте очень осторожны.

Электролит аккуратно перелейте в банку; раствор должен закрывать пластинки примерно на три четверти. Банку плотно закройте заготовленной крышкой с проводами и электродами. В тот момент, когда электроды, соприкоснутся с электролитом, возникнет электрический потенциал. Если цепь замкнуть, по ней пойдет электрический ток. Это легко проверить, подсоединив к проволочкам вольтметр: он покажет напряжение около 2 В. Однако сила тока не слишком велика, от элемента не будет даже работать лампочка для карманного фонаря. Но если вы изготовите не один, а два или три элемента Грене и соедините их последовательно—цинковую пластину с угольной, то лампочка будет гореть. А для опыта с никелированием достаточно и одного элемента Грене.

Хотя элемент Грене работает надежно, у него есть как минимум два недостатка: во-первых, неудобно иметь дело с жидким электролитом, да к тому же содержащим серную

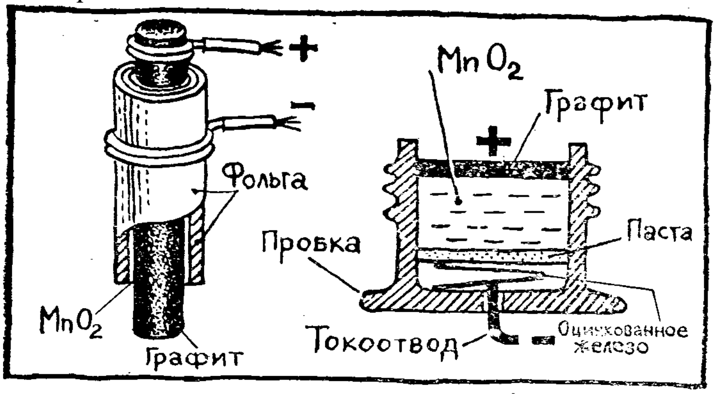
кислоту, во-вторых, не всегда есть под рукой цинковые и угольные пластинки. Поэтому займемся и другими самодельными источниками тока. Пусть они и уступают жидкостным элементам, зато не будет проблем с материалами.

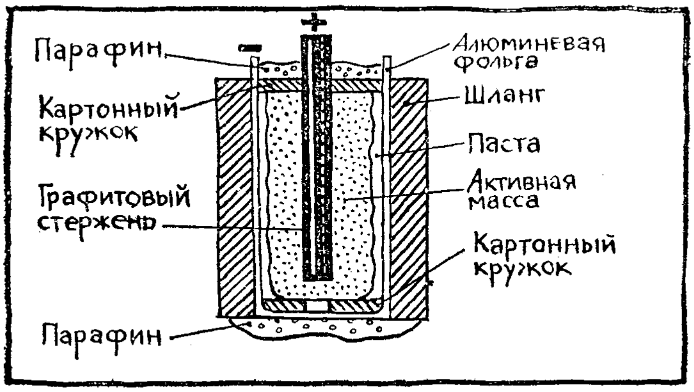
Чай и сигареты часто заворачивают в фольгу, у которой одна сторона «серебряная», а другая — бумажная. В магазинах «Юный техник» продают медную фольгу. И ту и другую нарежьте на квадраты примерно 5 х 5 см и кладите одну на другую вперемежку так, чтобы медь ложилась на «серебро». Самый нижний слой должен быть бумажным, самый верхний — медным. У вас получилась батарея элементов; чем выше стопка, т. е. чем больше элементов, тем выше и напряжение.

Из медной фольги вырежьте полоски — токоотводы, приложите их к стопке сверху и снизу и обмотайте изоляционной лентой, а потом погрузите батарейку в электролит— раствор поваренной соли. Чтобы убедиться в том, что батарейка начала работать, поднесите к ее полюсам, как вы это уже делали прежде, полоску фильтровальной бумаги, смоченной раствором фенолфталеина. У отрицательного полюса раствор покраснеет. Напряжение у такой батарейки может достигать нескольких вольт, но ток, к сожалению, слабоват.

Для других источников тока проще всего будет воспользоваться готовыми уже материалами из старых, отслуживших свое батареек. Разломайте батарейки и извлеките из них активную массу оксида марганца, которой обмазаны электроды, графитовые стержни и засохшую пасту (загущенный электролит) — соскребите его и положите для набухания и воду. Оксид марганца разотрите в порошок и смешайте с несколькими каплями фотоклея или раствора желатины. Этой смесью обмажьте графитовый стержень или же грифель простого карандаша, оставив сверху свободный участок для крепления контакта. Когда смесь высохнет, обмотайте стержень «серебряной» бумагой в несколько слоев, «серебром» наружу, и обвяжите ниткой. Один проводок плотно обмотайте вокруг стержня, другой— вокруг «серебряной» бумаги и приклейте его липкой лептой. Обмотайте элемент изоляционной лентой — он готов к работе.

Более совершенные элементы получаются, если активную массу и пасту увлажнять раствором хлорида аммония (24 г на 100 мл дистиллированной воды; полезно добавить 1 г хлорида кальция). Если этот раствор нагреть с крахмальным молоком, то получится электролит в виде пасты.





Возьмите полиэтиленовую пробку от бутылки, проколите в дне отверстие и пропустите через него проволочку. В пробку положите кружок из оцинкованного железа, он должен быть прижат к проволочке-токоотводу. Из фильтровальной бумаги вырежьте кружок по внутреннему диаметру пробки, пропитайте его электролитом, смажьте пастой и вложите в пробку. Сверху положите размоченную активную массу с оксидом марганца из старой батарейки и прижмите кружком, вырезанным из графитового стержня — он будет служить вторым токоотводом. Из таких «пробочных» элементов тоже можно составить батарею, дающую напряжение в несколько вольт.

Пластмассовую пробку можно заменить железной с оловянным покрытием — от бутылки с лимонадом

или минеральной водой. Естественно, цинк в этом случае уже не нужен, равно как не нужно пробивать отверстие в пробке—она сама по себе электропроводна, но оловянный элемент дает невысокое напряжение.

Еще более совершенный элемент — в виде стаканчика из алюминиевой фольги. Стаканчик можно изготовить с помощью короткого (3—4 см) отрезка пластмассового шланга. Внутрь вложите листок фольги заведомо большей высоты, прижмите к стенкам, а из «лишнего» материала сделайте донышко и распрямите его круглым стержнем, например обратной стороной шариковой ручки. Алюминиевый стаканчик вполне заменит цинковый.

Картонный кружок положите на дно и смажьте стаканчик изнутри загущенным электролитом из старой батарейки или самодельным. Слой не должен превышать 1 мм. Мешочек из легкой ткани наполните увлажненной массой MnO_2, уплотните, слегка надавливая тем же круглым стержнем, добавьте доверху массу и вдавите графитовый стержень (или грифель карандаша). Еще раз слегка уплотните массу, прикройте по возможности мешочек и наденьте на стержень второй картонный кружок с отверстием посередине—он не даст электроду наклоняться. Зажгите свечу и накапайте на эту шайбу, а потом на донышко элемента парафин для изоляции.

Такой элемент дает напряжение около 1 В, ноток его больше, чем у элемента из пробок. Два-три «стаканчика» дают возможность слушать транзисторный приемник через наушники.

КРИСТАЛЛЫ — БОЛЬШИЕ И МАЛЕНЬКИЕ

О выращивании кристаллов написано так много, и эти опыты настолько эффектны и несложны в исполнении, что наверняка вы их ставили хотя бы раз и знаете, в чем принцип. Собственно, ничего мудреного тут нет: надо приготовить горячий насыщенный раствор какой-либо соли (хлорида натрия, сульфата меди или железа, квасцов, бихромата калия и т. д., перечень очень велик), осторожно охладить его, чтобы излишек растворенного вещества не выпал в осадок (такой раствор называется пересыщенным), и, наконец, ввести затравку—кристаллик той же соли, подвешенный на нитке. После этого остается только прикрыть сосуд листком бумаги, поставить в укромное место и ждать, пока не вырастет крупный кристалл, на что могут уйти недели или даже месяцы; единственное, что придется изредка делать—это подливать понемногу насыщенный раствор по мере испарения.

Все это действительно известно. Но вариантов опыта очень много, и мы выберем не самые распространенные, например, с нитратом свинца и иодидом калия. Смешайте одинаковые объемы 10 %-ных растворов этих солей, и в сосуде выпадет осадок иодида свинца. Аккуратно слейте с него жидкость. Вскипятите воду в каком-либо прозрачном сосуде, подкислите ее уксусом и, пока она кипит, добавьте еще влажный осадок иодида свинца, взболтав его. При медленном остывании жидкости в ней вырастут золотистые кристаллы.

Вариация на ту же тему: слейте в пробирку растворы нитрата свинца и иодида калия, вскипятите содержимое вместе с осадком, чтобы он растворился, а затем быстро остудите под краном. В этом случае образуются мельчайшие золотые кристаллики, взвешенные в жидкости.

Вообще размер кристаллов сильно зависит от скорости охлаждения. Всыпьте 20 г нитрата калия небольшими порциями в сосуд с 25 мл воды. После добавления очередной порции взбалтывайте смесь, чтобы соль растворилась, а затем насыпайте следующую порцию. Когда соль перестанет растворяться, немного нагрейте сосуд, всыпьте еще порцию, взболтайте, снова нагрейте. И так до тех пор, пока вся взятая соль не растворится. Теперь разлейте раствор в два сосуда, и один оставьте остывать на воздухе (для еще более медленного остывания можно накрыть его несколькими слоями плотной ткани). В этом сосуде образуется несколько крупных кристаллов, а при удачном стечении обстоятельств — и один кристалл. Другой сосуд сразу же поставьте в кастрюлю с холодной водой, и в нем выделится множество мелких кристалликов. Это общее правило.

Следующие два опыта настолько впечатляющи, что их смело можно показывать

зрителям, конечно, тщательно все подготовив. Первый из них — опыт Пелиго. Цилиндр высотой 25—30 см вымойте изнутри горячей водой и через воронку по стенке налейте в него горячий очень концентрированный раствор гипосульфита, чтобы он заполнил цилиндр на 1/3. Этот раствор готовят так: 450 г гипосульфита растворяют при нагревании в 45 мл воды.

Второй раствор — ацетата натрия (300 г на 45 мл воды) также горячим влейте через ту же воронку еще на 1/3 цилиндра. Лейте очень аккуратно, этот раствор не должен смешиваться с ранее налитым раствором. Наконец, верхнюю треть цилиндра столь же осторожно заполните горячей водой, которая предохранит насыщенный раствор от преждевременной кристаллизации.

В сосуде три слоя: вода, пересыщенный раствор ацетата натрия, пересыщенный раствор гипосульфита. Накройте цилиндр стеклом, дайте остыть до комнатной температуры, а после этого можно приступать к опыту.

К концу стеклянной палочки прикрепите кусочком воска маленький, незаметный кристаллик гипосульфита (воск слегка расплавьте, нагрев его над пламенем). На глазах у зрителей быстро опустите палочку в нижний слой. Концентрация соли столь высока, что тотчас вокруг кристаллика нагромоздится множество новых кристаллов, образуя подобие цветка. А в среднем слое «чужое» вещество вокруг кристалла гипосульфита кристаллизоваться не будет.

Другую, точно такую же палочку с воском, но уже с маленьким кристаллом ацетата натрия (зрители не должны заметить разницы) опустите в средний слой—здесь тоже вырастет цветок, но совсем другой! Цилиндр, если обращаться с ним осторожно, удается использовать несколько раз.

Другой опыт, напоминающий фокус, — с одним только ацетатом натрия. Растворите 100—150 г соли в горячей воде (лучше в эмалированной посуде) и медленно выпаривайте, стараясь точно уловить момент, когда надо прекратить выпаривание: дуйте время от времени па поверхность горячего раствора, и как только станет появляться пленка, напоминающая жировую, это значит, что концентрация соли та, что требуется для образования кристаллогидрата состава $CH_3COONa*3H_2O$. Перелейте жидкость в чистый тонкий стакан, закройте его и поставьте остывать. В остывшую жидкость достаточно внести ничтожное количество затравки—ацетата натрия, чтобы она мгновенно закристаллизовалась и превратилась в твердую массу, напоминающую лед. Если вы немного недодержали жидкость на огне и воды в ней многовато, то над застывшей массой будет немного воды, которую надо слить. Если же воды не хватает, то на поверхности окажется налет соли. Снимать его нет смысла, проще добавить немного воды.

Расплавляя кристаллогидрат на водяной бане и охлаждая его, опыт можно проделывать множество раз, в том числе и на глазах изумленной публики,— а кто не изумится, увидев, как вода на глазах застывает без охлаждения? Напротив, стакан даже разогревается—это выделяется теплота кристаллизации. Стакан можно перевернуть, и из него не выльется ни единой капли.

Показывая опыт как фокус, постарайтесь стряхнуть крупинку соли незаметно—скажем, с кончика «волшебной палочки». И обязательно плотно закрывайте стакан между опытами, иначе даже случайная пылинка сможет вызвать незапланированную кристаллизацию.

Реагент для этого опыта — ацетат натрия можно получить из уксусной кислоты и соды. Если вы будете готовить его самостоятельно, то уксусную кислоту разбавьте водой примерно втрое и всыпайте в нее соду небольшими порциями, постепенно, дождавшись, когда прекратится вспенивание от предыдущей порции соды. Без этого реакция пойдет так бурно, что жидкость может выбросить из сосуда.

И еще необычные кристаллы — металлические, Будем выращивать кристаллы меди.

Мелкие медные кристаллы вы уже получали, когда опускали гвоздь в раствор медного купороса. Они настолько малы, что пленка меди на поверхности кажется почти сплошной. А чтобы приготовить крупные кристаллы, надо как-то замедлить реакцию, что-бы

выделяющаяся в реакции медь успевала осесть на кристаллы и достраивала их. Медленное охлаждение — возможный способ, но в том случае, когда не идет химическая реакция...

Тормозом для реакции будет служить поваренная соль. Положите на дно сосуда (например, стеклянной банки) немного кристаллов медного купороса и засыпьте их поваренной солью, по возможности мелкой. Прикройте их кругом, вырезанным из промокательной или фильтровальной бумаги; этот круг должен касаться стенок сосуда. Сверху, прямо на бумагу, положите железный кружок несколько меньшего диаметра. Заранее протрите его наждачной бумагой и промойте.

Налейте в банку насыщенный раствор поваренной соли, чтобы он полностью закрыл железный кружок. Дальше все пойдет без вашего участия. Сколько времени придется ждать, точно сказать нельзя — многое зависит от условий опыта. Во всяком случае, не час и не два, а несколько дней.

Итак, спустя несколько дней вы обнаружите в сосуде красивые красные кристаллы меди. Меняя размеры сосуда, размеры кристалликов медного купороса, толщину слоя поваренной соли и температуру опыта, м.ожно получить медные кристаллы разнообразной формы, порой на редкость необычной. А иногда вырастают дендриты—незавершенные в развитии кристаллы, похожие на ветви деревьев.

Если оставить медные кристаллы в том же сосуде, в которым они были получены, то долго они не сохранятся. Извлеките их, промойте водой, перенесите в пробирку с разбавленной серной кислотой и закройте пробкой. Вот теперь с кристаллами ничего не случится.

КРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ УЗОРЫ

Есть такие вещества, которые называют изоморфными: они кристаллизуются одинаково, несмотря на разный состав. Кристаллы одного такого вещества способны расти в насыщенном растворе другого: получается как бы «кристалл в кристалле». Если его разрезать, то на срезе окажется геометрический узор.

Самые доступные среди изоморфных веществ — квасцы, кристаллогидраты двойных сульфатов с общей формулой $M'M'''(SO_4)_2 * 12H_2O$. Воспользуемся тремя их разновидностями: темно-фиолетовыми хромокалиевыми $KCr(SO_4)_2 * 12H_2O$, зелеными железоаммонийными $NH_4Fe(SO_4)_2 * 12H_2O$ и бесцветными алюмокалиевыми $KAl(SO_4)_2 * 12H_2O$.

В эмалированную или стеклянную посуду налейте воду, насыпьте каких-либо квасцов (одного вида) и нагревайте, размешивая стеклянной или деревянной палочкой, но не до кипения. Когда соль растворится, добавьте еще порцию тех же квасцов и снова нагревайте. Когда раствор станет насыщенным, быстро профильтруйте его через ватный тампон, помещенный в стеклянную или эмалированную воронку, ополоснутую крутым кипятком. Если воронка будет холодной, может начаться преждевременная кристаллизация и кристаллы закупорят воронку.

Банку с раствором квасцов прикройте и оставьте медленно остывать. На дно выпадут небольшие кристаллы. Если они будут срастаться, нагрейте раствор, добавив немного воды, и вновь охладите. Кристаллы извлеките, обсушите, переложите в пробирку и закройте ее пробкой. Так же приготовьте кристаллу других квасцов. Насыщенные растворы сохраняйте! Чтобы не перепутать их, наклейте на банки этикетки.

Отберите по одному кристаллику каждого вида, обвяжите тоненькими нитями (например, от капронового чулка) и опустите каждый в «свой» раствор. Банки держите подальше от сквозняков; накройте их бумажными крышками.

Примерно за неделю кристаллы заметно вырастут. Поменяйте их местами. Если с самого начала подвесить в каждой банке по два кристалла, то будет еще больше чередований цветов. Чтобы не запутаться, к концам нитей прикрепите ярлычки и записывайте в лабораторном журнале, сколько времени и в каком растворе находятся кристаллы.

Правильный кристалл квасцов имеет форму октаэдра, но нам и не нужен идеальный кристалл. Напротив, чем причудливее форма, тем интереснее рисунок на срезе.

Одновременно вы можете выращивать кристаллические сростки — друзы, взяв для затравки уже сросшиеся кристаллики. Если они начали ветвиться во время роста, не исправляйте их; более того, вы сами можете управлять ростом граней. Смажьте грань вазелином, и она перестанет расти, смойте вазелин ацетоном — и грань будет расти снова.

Готовый кристалл разрежьте мокрой суровой ниткой; эта работа требует аккуратности и терпения. Поверхность среза подровняйте наждачной бумагой и отполируйте на влажной ватманской бумаге круговыми движениями.

В зависимости or того, как выбрана плоскость разреза, сколько в кристалле слоев и какова их толщина, получатся самые разнообразные геометрические узоры. У друзы вариантов еще больше. Разрезанный кристалл с узором тотчас покройте бесцветным лаком (годятся лак для ногтей), иначе он потускнеет и рассыплется в порошок.

Намного проще в изготовлении узор из кристаллов нашатыря—хлорида аммония. Правда, он бесцветен, зато рисунком так напоминает... Впрочем, не будем забегать вперед.

Всыпая хлорид аммония в теплую воду и тщательно перемешивая, приготовьте насыщенный раствор. Возьмите стеклянную пластинку или зеркальце, вымойте поверхность, кисточкой нанесите на нее приготовленный раствор. Пусть пластинка с раствором медленно охлаждается на воздухе, а чтобы на нее не попадала пыль, можно спрятать ее в шкаф. Спустя несколько часов вода испарится и на стекле образуется узор. Не надо даже всматриваться, чтобы понять, что же он напоминает: морозный узор на зимнем окне.

Такой опыт, конечно, лучше всего ставить под Новый год. Тепло искусственному морозному узору не грозит, но от воды его надо держать подальше...

КЛАД НА ТАРЕЛКЕ

Поиски кладов — занятие хлопотное и, как правило, бесполезное. И все-таки предлагаем вам попытать счастья, гарантируя полный успех. Мы будем искать настоящее золото, причем не в пещере и не в лесу, а на самой обычной тарелке с золотой каемочкой. И даже не на целой, а на разбитой.

Может быть, вас это удивит, но золотая каемка на посуде состоит действительно из золота. Правда. его там совсем мало, потому что слой очень тонкий. Возьмите стакан с золотым ободком и посмотрите на просвет: слой золота кажется прозрачным.

Золото на посуду наносят из раствора. И мы начнем этот опыт с приготовления раствора, содержащего золото.

Запаситесь черепками с позолотой — их вы получите бесплатно в посудном магазине. Для опытов вам достаточно будет примерно 10 $см^2$ позолоты. Из нее мы приготовим около 5 мл разбавленной золотохлороводородной кислоты $H[AuCl_4]$. Для этого растворите золото в смеси концентрированных кислот — 3 мл соляной и 1 мл азотной. Такую смесь принято называть царской водкой. Обращаться с концентрированными кислотами надо крайне осторожно! Работать в резиновых перчатках! Ставить опыт только в химическом кружке!

Перед растворением тщательно вымойте слой позолоты на битой посуде и удалите следы жира, протерев его ватным тампоном, смоченным в ацетоне. В стеклянную пипетку наберите несколько капель царской водки и растворите позолоту. Образовавшийся раствор золотохлороводородной кислоты аккуратно соберите в небольшую пробирку, прорытую дистиллированной водой. Все растворы в этом опыте также надо готовить на дистиллированной воде и в чистой посуде.

Чтобы полнее использовать золото, место, где оно растворилось, промойте небольшим количеством воды (лучше из пипетки) и соберите ее в ту же пробирку. Долейте воду до 5 мл. С этим раствором и будем работать. Мы приготовим очень красивый кассиевый пурпур — коллоидный раствор, содержащий мельчайшие частицы металлического золота. Он образуется, когда в сильно разбавленный раствор золотохлороводородной кислоты добавляют раствор хлорида олова $SnCl_2$.

Растворите 0,5 г хлорида олова (II) в 50 мл воды. Несколько капель этого прозрачного раствора влейте в пробирку с бледно-желтым раствором золотохлороводородной кислоты. Сперва смесь станет желто-коричневой, а через несколько минут возникнет замечательная

окраска кассиевого пурпура. При этом металлическое золото восстанавливается, а образующийся гидроксид олова $Sn(OH)_4$ придает коллоидному раствору устойчивость. Цвет жидкости обычно интенсивно красный, но в зависимости от размера частиц у него могут быть различные оттенки—от розового до фиолетового.

Коллоидное золото можно осадить раствором поваренной соли. Частицы золота при этом объединяются и тонут. После промывки и высушивания из осадка можно вновь получить (с помощью царской водки) раствор золотохлороводородной кислоты.

Если в вашем распоряжении есть водородная горелка, то можно поставить очень эффектный опыт — так называемый опыт Донау. Пламя водорода, направленное на поверхность раствора золотохлороводородной кислоты, тоже восстанавливает золото, и в жидкости появляются цветные полосы. Можно поступить и так: нанести на чистую фарфоровую пластинку неразбавленный раствор кислоты, полученный при обработке золота царской водкой, высушить его, а затем поместить в пламя водородной горелки. На фарфоре образуется блестящая пленка золота.

Предупреждаем: водородной горелкой можно пользоваться только с разрешения и в присутствии преподавателя.

КАК НЕВИДИМОЕ СДЕЛАТЬ ВИДИМЫМ

В приключенческих романах, повествующих о давних временах, упоминаются порой письма, написанные бесцветными чернилами; хитрые враги не знают секрета тайнописи, и лишь благородные герои могут превратить невидимое в видимое...

А секрета особого тут и нет, он давно уже известен. Некоторые бесцветные вещества как бы проявляются под действием тепла, образуя окрашенные соединения. К таким веществам относятся, например, сок лимона или репчатого лука. Обмакните в них перо и сделайте надпись на листе бумаги — ничего и не видно. А теперь подержите листок бумаги над закрытой электроплиткой или над пламенем, но достаточно далеко, чтобы бумага не вспыхнула, и надпись станет отчетливо видна. Такой же опыт неплохо удается с молоком и разбавленным уксусом.

Еще несколько подобных опытов — но не с природными веществами, а с химическими реагентами. Насыпьте в маленькую пробирку совсем немного, на кончике ножа, хлорида аммония и добавьте около чайной ложки воды. В прозрачный раствор обмакните перо, напишите или нарисуйте что-нибудь на бумаге и дайте высохнуть. После сильного нагревания надпись или рисунок станут отчетливо видны.

Еще эффектнее этот опыт получается с сильно разбавленным раствором хлорида кобальта $CoCl_2$. После высыхания линии на белом фоне почти незаметны, потому что кристаллогидрат $CoCl_2*6H_2O$ (а именно он и образуется после высушивания) — бледно-розовый. Но когда листок подогревают, часть кристаллизационной воды отщепляется, и соль приобретает синий цвет. Если же вновь увлажнить ее, подышав на бумагу или, еще лучше, подержав ее над паром, то изображение исчезает, потому что опять образуется шестиводный кристаллогидрат.

Возможно, этот опыт вам уже встречался. Вот его вариант, гораздо менее известный. Мы вовсе не будем нагревать листок с надписью, а чтобы показать, как можно отнять часть воды без нагревания, поставим предварительный опыт.

Налейте в пробирку немного концентрированного раствора хлорида кобальта розового цвета. Добавьте равное количество ацетона и перемешайте: цвет раствора станет голубым! Разбавьте раствор водой, и он опять станет розовым.

Что же произошло? Ацетон хорошо растворяет воду и может отнимать ее у других веществ. Но если так, то написанное раствором хлорида кобальта можно проявить с помощью ацетона и без всякого нагревания? Именно так. Листок с надписью протрите ваткой, смоченной в ацетоне, и результат будет тем же, что и при нагревании.

Еще один опыт с письмом—без пера и без чернил. Расправьте листок фольги от шоколада и приколите его кнопками к дощечке. Одну из кнопок присоедините к отрицательному полюсу батарейки. К положительному полюсу присоедините гвоздь,

очищенный наждачной шкуркой. Лист писчей бумаги смочите почти бесцветным раствором поваренной соли с добавкой красной кровяной соли $K_3[Fe(CN)_6]$, положите поверх фольги и коснитесь гвоздем бумаги: на ней появится синий след. При электролизе ионы Fe^{2+}, взаимодействуя с красной кровяной солью, дают турнбулеву синь $Fe_3[Fe(CN)_6]_2$. Она проникает бумагу и закрепляется в ее волокнах. Если же вместо кровяной соли взять роданид калия KSCN или аммония NH_4SCN, то получится не синий след, а красный, потому что образуется роданид железа красного цвета.

Такие опыты можно ставить не только с писчей бумагой, но и с лоскутами чистой белой ткани.

Превращение невидимого в видимое нередко оказывает огромную помощь тем, кто раскрывает преступления, Говорят, что на месте преступления всегда остаются следы, только не всегда они сразу заметны. И криминалисты ищут в первую очередь отпечатки пальцев, потому что у каждого человека они неповторимы — так же, как неповторимы человеческие лица. Конечно, у экспертов есть тонкие способы и подходящие вещества, позволяющие обнаружить и совсем слабые отпечатки; мы же воспользуемся довольно грубым, зато простым способом.

Приготовьте смесь из равных количеств талька и сажи (тальк продают в аптеках, а получение сажи описано в главе о пигментах). Подышите на палец, чтобы слегка увлажнить его, и прижмите к чистому листу бумаги. След на листе незаметен, но если присыпать его приготовленной смесью, осторожно распределить мягкой кистью (или просто покачать листок) и ссыпать излишек смеси, то на бумаге останется четкий отпечаток пальца. На бумаге были невидимые жировые следы, и на них адсорбировались .частицы черной смеси.

Такой же опыт можно поставить с разными предметами и поверхностями — возьмите старую газету, картонную коробку, пластмассовый или стеклянный стакан. В последнем случае для лучшего прилипания надо взять побольше талька; после того, как излишек смеси удален со стекла, слегка подогрейте стакан—тогда отпечатки на прозрачной поверхности станут более отчетливыми.

ПРОСТЫЕ ФОКУСЫ

Опыты с превращением невидимого в видимое, да и некоторые другие проделанные вами опыты смело можно показывать как фокусы. Впрочем, фокусы производят гораздо более сильное впечатление, если показывать их подряд, один за другим, окружая происходящее тайной, заклинаниями и медленными пассами «волшебной палочки»...

Химической сути фокусов (а она не так уж сложна) раскрывать не будем. Отыщите ее самостоятельно, и тогда вы не просто развлечете зрителей, но и пополните свои знания.

Количественные соотношения надо соблюдать, но не очень строго. Чтобы вам каждый раз не взвешивать реактивы, сделайте из дерева мерные ложечки, вмещающие около 10 мг сухого реактива. Можно воспользоваться и пластмассовыми ложечками, которые прикладывают к некоторым порошкообразным лекарствам. Каждый раз мы будем пояснять, сколько таких мерок надо взять.

Сначала — фокус с превращением воды в молоко. В один стакан поместите пять мерных ложечек хлорида кальция, в другой — столько же карбоната натрия (стиральной соды) и залейте водой примерно до трети стакана. Растворы на вид ничем не будут отличаться от воды. Слейте их вместе — и жидкость станет белой, словно молоко. Не тратя времени зря (иначе осадок может опуститься на дно, и все увидят, что это никакое не молоко), добавьте к жидкости раствор соляной кислоты в избытке — и «молоко», мгновенно вскипев, снова станет «водой».

Теперь фокус чуть посложнее — вода в нем будет превращаться не только в молоко, но и в чернила. Для фокуса понадобятся три стакана. В один насыпьте две ложечки хлорида бария (или стронция), в другой — одну ложечку танина. Влейте в оба стакана по половине чайной ложки воды. Порошки на дне после размешивания растворятся, а воды так мало, что издалека стаканы будут казаться зрителям пустыми.

В третий стакан поместите пять ложечек двойного сульфата железа и аммония

$FeSO_4(NH_4)_2SO_4$ (соль Мора). Этот стакан наполните водой почти доверху. Все готово к фокусу. На глазах у зрителей возьмите третий стакан, с солью Мора, и отлейте из него бесцветный раствор в «пустые» стаканы. В одном из них (там, где хлорид бария) вода мгновенно превратится в «молоко», во втором — в «чернила».

Следующий фокус ничуть не труднее. В пробирке с водой растворите две ложечки хлорида кобальта (его раствором вы делали невидимые надписи). Белый хлопчатобумажный платок намочите в этом растворе и высушите его. Платок станет голубым.

Фокус заключается в том, что вы показываете зрителям голубой платок, а потом комкаете его и сжимаете в руке. Если вы несколько раз сильно дунете на платок, то он увлажнится и вновь станет белым. Разожмите кулак и покажите белый платок зрителям. Его, кстати, можно использовать еще несколько раз: после просушки платок вновь поголубеет.

Для очередного фокуса с изменением цвета понадобятся три соли: красная кровяная, салицилат натрия и соль Мора. Всех этих веществ надо совсем немного, по одной ложечке; растворите их по отдельности в пробирках, до половины наполненных водой. Суть фокуса в том, что красная кровяная соль дает с солью Мора синее окрашивание, а салицилат натрия — красное. Если вы простым карандашом слегка наметите контур рисунка на бумаге, а затем смочи» те его с помощью кисточки двумя растворами: красной кровяной соли и салицилата натрия — и дадите просохнуть, то зрители не заметят даже, что на бумагу что-то нанесено. «Чистый» лист повесьте на стену и проведите по нему кистью, смоченной в растворе соли Мора (зрителям скажите, что это обычная вода). Рисунок мгновенно, прямо на глазах, окрасится в красные и синие цвета.

Еще один традиционный фокус — как без огня зажечь свечу. Наверное, вы знаете принцип -этого фокуса, но очень многое зависит от его оформления.

Советуем поступить так. Стеклянную пробирку облейте снаружи стеарином или парафином, чтобы она стала похожей на свечу. Закройте пробирку металлическим колпачком с отверстием, сквозь которое пройдет фитиль. В пробирку налейте немного спирта, чтобы он пропитал фитиль. После этого колпачок тоже залейте стеарином или парафином, чтобы наружу выглядывал только фитиль. «Свеча» готова.

Волшебной палочкой вам будет служить обычная стеклянная палочка, на конец которой вы наберете совсем немного кашицы из перманганата калия и серной кислоты. Предупреждение: смесь готовить в очень малом количестве, необходимом только для одного опыта! Не трогать смесь руками!

Как обставить этот опыт, вы и сами, наверное, сообразите (не забудьте про пассы и заклинания). А затем коснитесь палочкой фитиля — и на конце его сразу вспыхнет пламя.

Опыты-фокусы с изменением цвета выглядят очень своеобразно, когда пользуются не просто водными, а загущенными растворами. Загустителем может быть силикат натрия, водный раствор которого называют жидким стеклом. Вполне подойдет для фокуса и разбавленный водой вдвое конторский силикатный клей.

Налейте в стакан немного раствора хлорида кальция и добавьте одну-две капли фенолфталеина. В другой стакан введите раствор силиката натрия. Как только вы выльете в него первый раствор и взболтаете смесь, она, само собой разумеется, станет красной, и что еще более любопытно, густой, будто фруктовое желе.

Вместо хлорида кальция можно взять 3 мерки сульфата магния (аптечная горькая соль), залить водой, взболтать и добавить несколько капель раствора силиката натрия. После размешивания и на этот раз образуется «желе», только не ярко-красное, а бледно-розовое.

Окрашенные силикатные студни позволяют «рисовать» волшебные картинки. Сделайте набросок рисунка, и те места, которые должны быть окрашены, смочите бесцветным раствором фенолфталеина. Другой лист бумаги смочите раствором силиката натрия — тоже бесцветным. Прижмите листы один к другому и спустя несколько минут (тем временем вы можете показывать другой фокус) осторожно разделите листы. Картинка «сама собою» стала красной! Для посвященных нет ничего удивительного—ведь у растворов силиката натрия щелочная реакция...

И последний фокус, тоже обещанный ранее,—с превращением «воды» в «кровь». Приготовьте непрозрачный сосуд, например, оклеив стеклянную банку цветной бумагой; для большей таинственности нарисуйте на бумаге алхимические символы. В банку налейте воду.

Приготовьте несколько чистых стаканов. Вообще-то достаточно трех, но для того, чтобы создать у зрителей впечатление, будто превращения очень сложны, возьмите пять или шесть стаканов. В один стакан насыпьте четыре ложечки гидросульфата калия или капните несколько капель уксусной кислоты и пометьте для себя (но так, чтобы не было заметно зрителям) этот стакан, чтобы его можно было сразу отличить от остальных. В другой стакан насыпьте ложечку кальцинированной соды, в третий — несколько капель раствора фенолфталеина. Сухие реактивы залейте чалым количеством воды и размешайте до растворения. Теперь можно показывать фокус.

Прежде всего убедите зрителей, будто в банке простая вода; а поскольку так оно и есть, то можно в доказательство отпить из банки несколько глотков. А затем все стаканы наполните водой из банки. Не произойдет ровным счетом ничего. Перелейте всю воду обратно в банку из всех стаканов, кроме одного, с гидросульфатом натрия (или с кислотой). Жидкость в банке станет краской, словно кровь, и зрители убедятся в этом, как только вы выльете ее обратно в стаканы.

Вновь слейте содержимое стаканов в банку—на этот раз из всех без исключения стаканов. Жидкость обесцветится, «кровь» превратится в «воду», которую вы опять разольете по стаканам. Однако пить ее уже не надо.

Опыт нехитрый, но достаточно эффектный, если, разумеется, не забыть про заклинания...

ХИМИЧЕСКИЕ ЧАСЫ

В опытах, которые так похожи на фокусы, бесцветные растворы окрашивались то в один, то в другой цвет, и происходило это сразу же, как по мановению волшебной палочки. И действительно, химические реакции идут очень быстро и, как правило, начинаются сразу же после смешения реагентов. Однако из этого правила есть исключения. Реакционная смесь может оставаться какое-то время бесцветной, а затем мгновенно окраситься. Хотите—через пять секунд, хотите—через десять; вы сами можете поставить «химические часы» на требуемое время.

Приготовьте два раствора. Состав первого: 3,9 г йодата калия KJO_3 на литр воды. Состав второго: 1 г сульфита натрия Na_2SO_3, 0,94 г концентрированной серной кислоты (осторожно!) и немного, несколько миллилитров крахмального клейстера — тоже на литр воды. Оба раствора бесцветны и прозрачны.

Отмерьте по 100 мл обоих растворов и быстро, лучше при перемешивании, прилейте второй к первому. Опыт удобнее ставить вдвоем—пусть ваш товарищ сразу же начнет отсчет времени по секундомеру или по часам *с* секундной стрелкой. Через шесть-восемь секунд (точное время зависит от температуры) жидкость мгновенно окрасится в темно-синий, почти черный цвет.

Теперь отмерьте вновь 100 мл второго раствора, а 50 мл первого разбавьте водой ровно вдвое. С секундомером в руках вы убедитесь, что время, прошедшее с момента сливания растворов до их окрашивания, тоже увеличится в два раза.

Наконец, смешайте 100 мл второго раствора с 25 мл первого, разбавленного водой вчетверо, т. е. до тех же 100 мл. «Химические часы» будут работать в четыре раза дольше, чем в первом опыте.

Этот опыт демонстрирует один из фундаментальных химических законов — закон действия масс, согласно которому скорость реакции пропорциональна концентрациям реагирующих веществ. Но вот в чем вопрос: почему растворы окрашиваются мгновенно после паузы, а не равномерно и постепенно, как этого следует ожидать?

Серная кислота в растворе вытесняет йодат- и сульфит-ионы из их солей. При этом в растворе образуется йодоводородная кислота HI, но живет она недолго и тут же вступает во взаимодействие с йодноватой кислотой HJO_3. В результате выделяется свободный йод, он-то

и дает цветную реакцию с крахмалом.

Если бы все шло именно так, то раствор и темнел бы постепенно, по мере выделения иода. Однако параллельно идет еще один процесс: сернистая кислота H_2SO_3 реагирует со свободным иодом и вновь образуется иодоводородная кислота. Эта реакция идет быстрее предыдущей, и йод, не успев окрасить крахмал, снова восстанавливается до JO3-.

Выходит, что окраска не должна появиться вовсе? Обратите внимание: в ходе реакции сернистая кислота непрерывно расходуется, и как только вся она превратится в серную, иоду ничто уже не будет мешать реагировать с крахмалом. И тогда раствор мгновенно окрасится по всему объему.

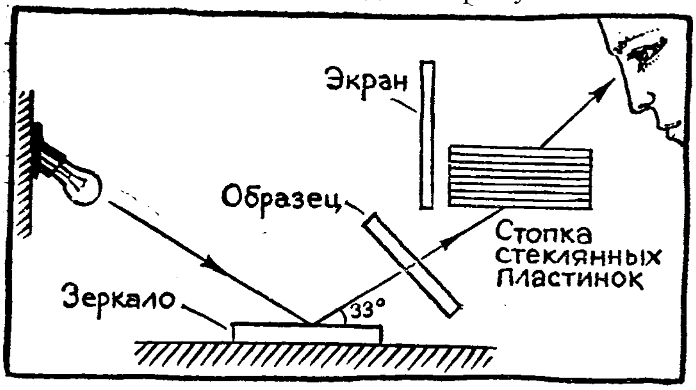
Разбавляя раствор вдвое и вчетверо, вы уменьшали концентрацию иодата калия, и скорость реакции уменьшалась пропорционально.

Объяснение, кажется, заняло больше времени, чем сам опыт с часами...

РАДУГА БЕЗ СОЛНЦА

В химических исследованиях очень часто используют оптические способы. Явление, которое вы сейчас будете наблюдать, применяют для того, чтобы определить температуру плавления вещества.

Подготовьте около пятнадцати одинаковых пластинок из тонкого стекла (годятся, например, старые фотопластинки). Горячей водой смойте с них эмульсию и нарежьте на квадратики размером примерно 5 х 5 см. Десять таких квадратиков положите один на другой и с торцов обмотайте изоляционной лентой, чтобы стопка не рассыпалась. На одну из оставшихся пластинок насыпьте немного тиосульфата натрия (гипосульфита) и аккуратно подогрейте, чтобы кристаллы расплавились. Другую свободную пластинку нагрейте и сразу накройте ею расплав. Между пластинками образуется тонкий прозрачный слой расплавленной соли. Если он окажется мутным, добавьте немного, буквально одну-две капли воды. При остывании расплава на воздухе гипосульфит начнет кристаллизоваться; это само по себе любопытно наблюдать через увеличительное стекло.



Положите на стол лист черной бумаги, а поверх него — чистое тонкое стекло. Включите яркую лампу и сядьте у стола так, чтобы сквозь стопку, которую вы будете держать, было видно отражение лампы в тонком стекле, лежащем на столе. Меняя наклон стопки, наклоняясь ближе к столу, либо отдаляясь от него, найдите такое положение, при котором отражение лампы померкнет. На стопку лучше смотреть под острым углом. Если вам мешает прямой свет от лампы, прикройте стопку экраном или ладонью, но так, чтобы видеть свет, отраженный от стола.

Свободной рукой возьмите пластинки с гипосульфитом и поместите их между стопкой и столом так, чтобы они оказались на пути света. Слегка поворачивайте и наклоняйте их—и вы увидите очень красивую радугу.

Объяснение опыта завело бы нас в мир уже нс химических, а физических явлений. Расскажем только, как с помощью таких стопок — их называют поляризационными— измеряют температуру плавления. Радуга, которую вы наблюдали, появляется только в кристаллах. Если же постепенно нагревать твердое вещество, то в тот самый момент, когда вещество перейдет в жидкое состояние, радуга исчезнет.

СВЕТЯЩИЕСЯ РАСТВОРЫ

Во время некоторых химических реакций часть энергии выделяется в виде света. Такой процесс называют хемилюминесценцией. Иногда хемилюминесценция происходит в живых организмах: самый наглядный пример — всем известные светляки. Слабое свечение появляется и при окислении некоторых органических соединений. Вы можете наблюдать его

в опыте с окислением гидрохинона. Заключительную стадию этого опыта надо проводить в темноте, чтобы свечение было лучше заметно.

Растворите 1 г гидрохинона и 5 г карбоната калия (поташа) в 40 мл аптечного формалина — водного раствора формальдегида. Перелейте реакционную смесь в большую колбу или в бутылку емкостью не менее литра.

В небольшом сосуде приготовьте 15 мл концентрированного раствора пероксида (перекиси) водорода. Можно воспользоваться таблетками гидроперита — соединения пероксида водорода с мочевиной (второй компонент опыту не помешает). Поставьте оба сосуда в темной комнате так, чтобы они были под рукой. Как только глаза привыкнут к темноте, добавьте раствор пероксида в большой сосуд. Тотчас смесь начнет вспениваться (из-за этого мы и просим вас взять сосуд побольше) и появится отчетливое оранжевое свечение.

Химическая энергия, выделяющаяся при окислении гидрохинона пероксидом в щелочной среде, почти полностью переходит в световую, а не в тепловую, как обычно. Тем не менее тепло в реакции тоже выделяется, поэтому формальдегид немного испаряется. А так как он неприятно пахнет, то, во-первых, не наклоняйтесь над сосудом и, во-вторых, сразу после опыта проветрите помещение.

Свечение может появиться не только при окислении. Иногда оно возникает при кристаллизации. Явление это давно известно; вы можете наблюдать его.

Самый простой объект наблюдения — поваренная соль. Растворите ее в воде, причем соли возьмите столько, чтобы на дне стакана оставались нерастворившиеся кристаллы. Полученный насыщенный раствор перелейте в другой стакан и по каплям, с помощью пипетки, осторожно добавляйте к этому раствору концентрированную соляную кислоту. Соль начнет кристаллизоваться и при этом возникнет свечение—в растворе будут проскакивать маленькие искры. Чтобы заметить их, опыт также надо ставить в темноте.

Подобным образом ведут себя при кристаллизации и некоторые другие соли—хлорид калия, хлорат бария. Во всех случаях искры появляются лишь при добавлении соляной (хлороводородной) кислоты. Но, пожалуй, наиболее эффектен опыт со смесью сульфатов калия и натрия. Смешайте 200 г калиевой и 80 г натриевой соли и небольшими порциями добавляйте к ним горячую воду. Когда все кристаллы растворятся, оставьте раствор для охлаждения. Помещение, в котором вы ставите опыт, должно быть затемнено. Первые, совсем слабые искры появятся уже при 60°С. Потом их будет становиться все больше и больше. Когда кристаллов выпадет много, вы увидите целый сноп искр, но этого приходится ждать долго — иной раз целый час. Если приложить ухо к стенке сосуда, можно услышать нечто вроде грома. Свечение в этом случае вызвано, вероятно, образованием двойной соли $2K_2SO_4*Na_2SO_4*10H_2O$.

Раствор с кристаллами не выливайте — опыт можно повторить и после того, как свечение прекратится. Проведите стеклянной палочкой по кристаллам, которые находятся под жидкостью, или просто встряхните несколько раз сосуд с кристаллами—искры появятся вновь.

Вот еще опыт со свечением при кристаллизации (это явление называют кристаллолюминесценцией), Для него придется приготовить бромат бария $Ba(BrO_3)_2$ из более доступных веществ—бромата калия $KBrO_3$ и хлорида бария $BaCl_2$. Так как растворимость первого из них невелика, придется брать разбавленные растворы, примерно 3 %-ной концентрации. Если смесь реагентов охлаждать, то в осадок выпадет искомая соль: в холодной воде бромат бария почти не растворяется.

Отфильтруйте, промойте холодной водой и высушите бромат бария, затем отвесьте 2 г, растворите в 50 мл кипятка и вновь профильтруйте раствор. Стакан с раствором поставьте охлаждаться, но не при комнатной температуре, а при несколько более высокой — 40—45 °С (лучше всего — в сушильном шкафу). При этой температуре в растворе будут появляться голубые искры и раздаваться хлопки—опять микрогроза в химическом стакане...

СВЕЧЕНИЕ ТВЕРДЫХ ТЕЛ

Раствор бромата бария, приготовленный в предыдущем опыте, охладите до комнатной температуры; в осадок должны выпасть белые кристаллы соли. Когда их соберется достаточно, разотрите их стеклянной палочкой. Может быть, и не с первого раза (требуется навык), но при растирании появятся вспышки света.

По какой же причине — ведь химические процессы уже не идут, и кристаллизация тоже закончилась?

Действительно, причина тут иная—трение. И явление это — триболюминесценция (по-гречески трибос—трение). Есть вещества, которые очень чувствительны к трению и начинают светиться в темноте не только при растирании, но даже при встряхивании. Правда, эти вещества—не из самых распространенных, но может быть, они есть в школьном кабинете химии или в химическом кружке. Вот два из них: сульфид цинка ZnS с добавкой 0,02 % сульфида марганца MnS; сульфид кадмия CdS. Однако среди веществ, испускающих свет при трении, есть и на удивление обыденные. Например, сахароза.

В большую фарфоровую ступку насыпьте на дно немного рафинированного (т. е. очищенного) сахарного песка. Войдите в темное помещение и пробудьте в нем несколько минут. Когда глаза привыкнут к темноте, сначала медленно, потом постепенно убыстряя темп, растирайте круговыми движениями сахарный песок фарфоровым пестиком. Вскоре появятся голубоватые искры, которые сольются в светящееся кольцо. Если не убыстрять темп растирания, то искры будут вспыхивать под пестиком тут и там.

Упрощенный вариант опыта: крепко зажмите в руке кусок сахара-рафинада и чиркните им несколько раз по шероховатой поверхности — фаянсовой, керамической. Проделайте это, как и прежде, в темноте. Если глаза к ней привыкли, вы увидите светящиеся полосы, которые гаснут, едва вспыхнув.

Излучение при триболюминесценцин объясняется электрическими разрядами, возникающими при разрушении кристаллов. Вот почему оно прекращается, когда кристаллы сахара в ступке уже перетерты. Сахарная пудра от трения не светится.

ФАНТАСТИЧЕСКИЙ БУКЕТ

Сейчас займемся приготовлением цветов фантастической окраски. Мы воспользуемся свойством некоторых природных красителей изменять свой цвет под действием среды — тем самым свойством, благодаря которому нам удавалось превращать растения в самодельные индикаторы.

У английского писателя Редьярда Киплинга есть стихотворение «Синие розы» — о девушке, которая отвергла букет красных роз, и о юноше, который отправился на поиски синих, но так и не нашел их:

«Зря изъездил я весь свет —

Синих роз под солнцем нет».

Точно так же, как нет на свете ни зеленых пионов, ни желтых ландышей, ни малиновых нарциссов. И все же их можно видеть своими глазами...

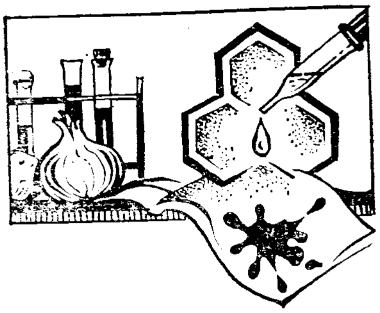
В колбе или стакане смешайте 50 мл медицинского эфира с таким же количеством концентрированного раствора аммиака — это и есть реактив для изготовления фантастического букета. Пожалуйста, помните о том, что пары эфира легко воспламеняются, а значит, поблизости не должно быть огня. Кроме того, у обеих жидкостей резкий запах, поэтому опыт надо проводить в вытяжном шкафу или, в крайнем случае, на открытом воздухе.

Цветок, окраску которого вы собираетесь изменить, поместите над сосудом со смесью жидкостей. Некоторое время спустя (точное время придется определить на практике для каждого вида цветов) окраска изменится. Обе жидкости, которыми вы пользуетесь, летучи. Пары эфира экстрагируют Красители цветка из растительных клеток, а пары аммиака создают в лепестках щелочную среду. От этого красители и меняют окраску, подобно лабораторным индикаторам.

Обработав таким способом несколько разных цветков, вы получите невероятные букеты. Если вы собираетесь удивить необычными цветами своих знакомых, то учтите, что

букет следует готовить незадолго до демонстрации, потому что обработанные смесью аммиака и эфира цветы быстро увядают.

Казалось бы, в кислой среде, под действием паров какой-либо кислоты, окраска цветов должна восстановиться. К сожалению, это не так: в цветках идут и необратимые процессы, поэтому восстановить прежний цвет удается далеко не всегда.



6
СВОИМИ ГЛАЗАМИ

В школе вы изучаете химическую теорию, а на лабораторных занятиях убеждаетесь в том, что теория верна. Но все ли теоретические положения можно проверить на уроках? Вряд ли, времени не хватит, а многое слишком сложно для проверки. И все-таки некоторые явления, сложные по своей природе, можно наблюдать и на занятиях химического кружка, и даже в домашней лаборатории. Узнать о них не по книгам, а на опыте.

Сейчас бурно развивается биохимия — и вы можете своими глазами увидеть биохимические превращения, Вы слышали о солнечных элементах, которые преобразуют солнечную энергию в электрическую? Такие элементы можно изготовить самостоятельно — и они будут давать ток. Получить искусственный шелк, разделить смесь веществ на хроматографической колонке, синтезировать полупроводниковый материал и проверить его свойства—все это посильные задачи для юного химика.

Конечно, множество явлений и процессов останутся у нас вне поля зрения — необъятного не объять. Однако будем надеяться, что то немногое, с чем вы встретитесь в этой главе, даст вам пищу для размышлений. Увидеть своими глазами — очень важно, разобраться в сути — еще важнее.

ОПЫТЫ С ФЕРМЕНТАМИ: ОКСИДАЗЫ И ПЕРОКСИДАЗЫ

В клетках растений и животных непрерывно протекают сложные химические процессы. Они регулируются белковыми веществами — ферментами, которые (напомним еще раз) играют роль катализаторов химических реакций в клетках. Для изучения таких биохимических процессов нужны сложные приборы и множество реактивов. Однако некоторые биохимические явления можно наблюдать, как говорится, и невооруженным глазом.

Начнем с окислительных ферментов — оксидаз и пероксидаз. Они присутствуют во многих живых тканях, потому что окисление лежит в основе процессов дыхания. Но действуют эти ферменты по-разному: оксидазы окисляют органические вещества кислородом воздуха, пероксидазы для той же цели «добывают» кислород из пероксидов. Конечно, вещества медленно окисляются и без помощи ферментов, но ферменты ускоряют реакцию во много тысяч раз.

При окислении некоторых веществ, например, фенола и гидрохинона, образуются окрашенные продукты реакции. Появление окраски говорит о том, что фермент сработал. А интенсивность окраски позволяет судить о количестве продуктов окисления. Если же окраска вообще не появляется, значит, фермент неактивен. Это может случиться в слишком кислой или слишком щелочной среде, или если отсутствуют поставщики кислорода, или в присутствии вредных для ферментов веществ—так называемых ингибиторов ферментов.

После этого небольшого вступления — сами опыты. Вам понадобятся: капустная кочерыжка, яблоко, клубень картофеля с ростками, луковица с корешками, проросшая в темноте. Реактивами будут служить холодная кипяченая, а еще лучше дистиллированная вода, гидрохинон (из магазина фототоваров) и аптечная перекись водорода. Запаситесь также теркой для овощей, водяной баней, пробирками или флакончиками из-под пенициллина, чистыми пипетками и марлей либо белой тканью.

Начнем исследования с капустного сока. Кусочек капустной кочерыжки, примерно 20

г, измельчите на терке, полученную кашицу отожмите через два слоя марли или один слой ткани, сок соберите в стакан и разбавьте водой в десять раз. Сразу же предупреждаем: при исследовании других растительных объектов сок нужно разбавлять не более чем в два-три раза.

Шесть чистых сухих пробирок или флакончиков пронумеруйте. В пробирки № 1, 2, 3 и 4 налейте по 1 мл разбавленного капустного сока. Пробирки 1 и 2 поставьте для разрушения (инактивации) ферментов минут на пять в кипящую водяную баню, а затем охладите до комнатной температуры. В пробирки 5 и 6 вместо сока налейте по 1 мл воды.

Во все шесть пробирок добавьте немного, на кончике ножа, гидрохинона. Затем в пробирки 1, 3 и 5 налейте по пять капель воды, а в пробирки 2, 4 и 6 — по пять капель пероксида водорода. Содержимое каждой пробирки тщательно перемешайте.

Через десять-пятнадцать минут можно уже наблюдать результаты опыта. Настоятельно советуем записать их в виде таблицы. Внесите в таблицу номера пробирок и состав смеси в каждой из них, в графе против каждой смеси пометьте, изменилась ли окраска в ходе опыта, а если изменилась, то как именно. В следующей графе сделайте вывод— произошло ли окисление.

Когда вся таблица будет заполнена, попытайтесь проанализировать полученные результаты. Для этого подумайте над такими вопросами.

Может ли пероксид водорода окислить гидрохинон в отсутствие капустного сока?

Окисляется ли гидрохинон под действием сока капусты без пероксида водорода?

Сохраняется ли активность ферментов в соке после кипячения?

Какие окислительные ферменты содержатся в капустном соке — оксидазы или пероксидазы?

Однако па основании опыта с растениями одного вида рано еще делать окончательные выводы. Поэтому поставьте такие же опыты с клубнем картофеля и его ростками, с мякотью яблок, с мясистыми чешуями луковицы, а также с ее донцем и листьями («перьями»). Напоминаем: в этих случаях полученный сок надо разбавлять водой в 2—3 раза.

Когда все опыты проделаны, можно определить, в каком из исследованных материалов окислительные ферменты активнее. Как вы считаете, могут ли одновременно присутствовать в растительных тканях оксидазы и пероксидазы?

Попытайтесь сделать выводы сами, не заглядывая в объяснение. А когда выводы сделаны, проверьте, насколько они правильны.

Вывод первый. Пероксид водорода может постепенно окислять гидрохинон и без сока: в пробирках 5 и 6 медленно появляется розовая окраска. Значит, фермент необязателен для реакции. Как и все катализаторы, ферменты лишь ускоряют начавшуюся реакцию во много раз. Вы заметили, конечно, как быстро появилась окраска в пробирке 4. Однако пероксидазы не могут ускорить реакцию гидрохинона с кислородом воздуха (окраска в пробирке 3 отсутствует или появляется очень медленно).

Вывод второй. Фермент можно вывести из строя даже кратковременным кипячением. В пробирке 2 окраски практически нет. Ведь ферменты—это белки; они свертываются при нагревании—в пробирках 1 и 2 появились белковые хлопья.

Вывод третий. В пробирке 3 окраска не появилась. Значит, в капустном соке содержатся только пероксидазы, ускоряющие окисление гидрохинона лишь в присутствии пероксида водорода. Однако в опытах с картофельными клубнями и яблоком окраска появляется, и особенно быстро при встряхивании флакона, когда раствор обогащается кислородом воздуха. Значит, в картофеле и яблоке есть оксидазы (конкретнее— фенолоксидаза), способствующие окислению гидрохинона кислородом. Поэтому и темнеют на воздухе разрезанные клубни картофеля и яблоки — они содержат вещества, родственные гидрохинону. Оксидаза также теряет активность при нагревании. Вспомните, темнеет ли вареный картофель? Наконец, четвертый вывод. В картофеле и яблоке есть также оксидазы — при добавлении пероксида в пробирку 4 окраска появляется скорее. А в мясистых чешуях

лука оксидазы нет. Они не темнеют на воздухе даже с гидрохиноном.

Кстати, вы обратили внимание на то, что окислительные ферменты особенно активны в готовящихся к росту или растущих органах растений — в донце луковицы и ее корешках, в ростках клубней картофеля? Обмен веществ идет там наиболее интенсивно.

Итак, мы выяснили, что не всякие условия среды благоприятны для действия ферментов. Если сильный нагрев инактивирует ферменты, то, может быть, они более активны при низкой температуре? Проверим и это. Для опыта нужны будут дополнительно четыре стеклянные или металлические банки емкостью около одного литра и лед или снег (примерно 1 кг). Опыт поставим с капустной кочерыжкой.

Натрите кочерыжку на терке, сок, как и прежде, отожмите через марлю или ткань и разбавьте водой в двадцать раз. Пронумеруйте вновь пробирки, если старая нумерация почему-либо стерлась, и налейте в пробирки 1, 2, 3 и 4 по 1 мл разбавленного капустного сока, а затем добавьте гидрохинон на кончике ножа. В пробирки 5 и 6 вместо сока налейте по 1 мл воды и тоже насыпьте гидрохинон. А затем расставьте пробирки следующим образом: 1 — в банку со снегом или льдом; 2 — в банку с теплой водой (40°С); 3 — в банку с горячей водой (60°С); 4 — оставьте на столе при комнатной температуре; 5 — в банку с кипящей водой; 6 — оставьте при комнатной температуре.

Через 5 мин после начала опыта во все пробирки, начиная с более холодных, влейте по пять капель пероксида водорода. Смесь осторожно взболтайте и заметьте время начала реакции. Еще через 5 мин выньте пробирки из банок и запишите результаты опыта в виде таблицы, примерно такой же, как и в прошлый раз. Когда таблица заполнена, можно заняться анализом полученных данных.

Попробуйте сделать выводы самостоятельно, ответив сначала на следующие вопросы.

Ускоряется ли реакция окисления при повышении температуры без добавления фермента?

Можно ли сказать, что ферменты лучше действу' ют при охлаждении?

Какая температура наиболее благоприятна для действия пероксидаз?

Почему пищевые продукты дольше сохраняются в холодильнике?

Для чего кипятят молоко?

Почему теплокровные животные — млекопитающие и птицы—наиболее развитые и жизнеспособные животные на Земле?

Вы ответили на все эти вопросы? Тогда — наши пояснения.

Вы, вероятно, заметили, что скорость окисления гидрохинона пероксидом водорода неодинакова при низкой и высокой температурах. При высокой температуре скорость окисления, естественно, выше. Пероксидазы облегчают взаимодействие гидрохинона с пероксидом. В присутствии фермента реакция проходит даже при низкой температуре, однако чем выше температура, тем легче ферменту активировать молекулы реагирующих веществ.

Но нельзя забывать, что белки при высокой температуре свертываются, скорость реакции снижается. Существует понятие оптимальной температуры действия ферментов, при которой они проявляют наибольшую активность. Для разных ферментов эта температура неодинакова, но многие ферменты, в том числе и пероксидазы, имеют температурный оптимум 40—50°С.

Пищевые продукты портятся под действием ферментов, которые содержатся в них или выделяются микроорганизмами. На холоде активность ферментов снижается — вот почему в холодильнике продукты портятся меньше.

На верхнюю ступень эволюции поднялись теплокровные животные, которые могут поддерживать температуру тела, оптимальную для деятельности ферментов.

ОПЫТЫ С ФЕРМЕНТАМИ: ДЕГИДРОГЕНАЗЫ

До сих пор вы ставили опыты с растительными тканями. Попробуем поэкспериментировать с ферментами из тканей животных. Объект нового исследования — дегидрогеназы, которые участвуют в процессах тканевого дыхания у животных. Из названия

этих ферментов видно, что они отнимают у веществ атомы водорода. Как это происходит, вы увидите чуть позже, а пока приготовьте все необходимое для опыта.

На этот раз вам понадобятся следующие вещества: 5 мл 0,5 %-ного водного раствора формальдегида (аптечный формалин разбавить водой в десять раз); столько же 0,02 %-ного водного раствора метиленового синего (можно использовать разбавленные синие чернила); столько же водного раствора янтарной кислоты, осторожно нейтрализованного пищевой содой до прекращения выделения пузырьков; 10 мл вазелинового или растительного масла. Еще нужен будет термометр и объекты исследования — свежее коровье молоко и мясо курицы или кролика.

Сначала посмотрим, как окисляет формальдегид дегидрогеназа свежего молока. Чтобы это стало заметно, и понадобился раствор красителя метиленового синего: дегидрогеназа отнимет у формальдегида атом водорода, перенесет его на легко восстанавливающийся краситель, и он обесцветится. А формальдегид окислится при этом до муравьиной кислоты. Обесцвеченный после восстановления краситель легко окисляется кислородом воздуха и вновь синеет. Поэтому реакционную смесь придется изолировать от воздуха слоем масла.

Пронумеруйте шесть пробирок. В пробирки 1 и 2 налейте по 5 мл свежего некипяченого молока, а в пробирку 3 — такое же количество холодного кипяченого молока.

Воду в водяной бане нагрейте до 37 °С. Во все три пробирки добавьте по 0,5 мл (около 50 капель) раствора формальдегида и по 5 капель раствора метиленового синего. Смесь станет голубой. В каждый флакон налейте немного масла, чтобы образовался тонкий изолирующий слой на поверхности, и поставьте пробирки 1 и 3 на водяную баню. Пробирку 2 оставьте при комнатной температуре. Заметьте время начала реакции и наблюдайте за изменением окраски растворов. Результаты не забудьте записать в тетрадь.

Как и раньше, зададим вам наводящие вопросы. При какой температуре раствор обесцвечивается быстрее?

Сохраняет ли фермент свою активность в кипяченом молоке?

Что произойдет, если продуть через обесцвеченный раствор воздух?

Прежде чем проверить правильность своих выводов, поставьте еще один опыт с дегидрогеназой, а потом уже рассмотрим результаты обоих опытов.

В мышцах животных содержится специфический фермент—дегидрогеназа янтарной кислоты. Она катализирует превращение янтарной кислоты в фумаровую с переносом отнятого водорода на подходящее вещество, например, на метиленозый синий. Эта реакция протекает без участия кислорода, как говорят, в анаэробных условиях.

Сырое мясо курицы или кролика (около 10 г) мелко нарежьте и разотрите на блюдце. Кашицу промойте несколько раз водой на марле, чтобы удалить растворимые вещества. Промытую кашицу размешайте с тройным объемом воды, в которую добавлена поваренная соль—примерно треть чайной ложки. Разбавленную кашицу влейте в пробирки 4, 5 è 6 — по 5 мл в каждую. Пробирку 4 погрузите на пять минут в кипящую водяную баню и охладите до комнатной температуры. Затем в пробирки 4 и 5 добавьте по 0,5 мл раствора янтарной кислоты и по 10 капель раствора метиленового синего, а в пробирку 6 добавьте 0,5 мл воды и 10 капель красителя. В каждый флакон долейте чуть-чуть масла, чтобы изолировать смесь от воздуха. Проследив изменение окраски, попробуйте ответить на очередные вопросы.

Восстанавливается ли краситель в присутствии прокипяченной кашицы из мяса?

Нужна ли для этой реакции янтарная кислота?

Сходно ли поведение ферментов из тканей при высокой температуре?

А теперь — пояснения. Дегидрогеназы в свежем молоке ускоряют реакцию окисления формальдегида (это замечено по обесцвечиванию метиленового синего). Восстановленному красителю можно вернуть синий цвет, окисляя его кислородом воздуха. Дегидрогеназа молока при низкой температуре «работает» медленно; после кипячения молока она вовсе теряет активность. Значит, у этого фермента тоже есть оптимальная температура реакции.

В опытах с кашицей из мышц дегидрогеназа янтарной кислоты, как и все ферменты,

теряет активность после кипячения. В отсутствие янтарной кислоты реакция также не идет (если вы хорошо промыли кашицу водой и удалили таким образом содержащуюся в ней янтарную кислоту). Фермент довольно быстро окисляет янтарную кислоту до фумаровой, перенося атомы водорода на краситель.

И еще один опыт с этим же ферментом, но с другим объектом — с микроорганизмами. До сих пор вы имели дело с животными и растительными тканями. Однако микроорганизмы, пожалуй, еще лучше вооружены ферментами: ведь у них нет других средств борьбы за существование, кроме биохимических. С одним из микроорганизмов, а точнее — грибов, мы и поставим опыт. Речь идет об обычных пекарских дрожжах. Среди множества активных ферментов, которые вырабатываются дрожжами, есть и знакомая нам дегидрогеназа.

Кусочек прессованных дрожжей разотрите на блюдце с двумя чанными ложками кипяченой воды. Растирать лучше пластмассовой или алюминиевой ложкой. Когда смесь станет однородной, внесите ее чистой пипеткой в две пробирки. Их надо предварительно вымыть с мылом ватным тампоном на палочке, промыть водой и высушить. Другой пипеткой добавьте в обе пробирки немного масла.

Пробирку 1 поставьте на пять минут в кастрюлю с кипящей водой и охладите до комнатной температуры. В обе пробирки добавьте по щепотке сахарного песка и осторожно взболтайте, чтобы сахар растворился. Третьей пипеткой введите в обе пробирки по 10—15 капель раствора красителя. Наблюдайте за окраской раствора.

Опыт можно несколько усложнить, для этого понадобится больше пробирок. Попробуйте изменять температуру раствора, брать разные количества дрожжей и сахарного песка. А выводы предоставляем вам сделать самостоятельно, без всяких наводящих вопросов. Теперь, когда вы накопили достаточный опыт, вам это вполне под силу.

ОПЫТЫ С ФЕРМЕНТАМИ: АМИЛАЗЫ

Ферменты ускоряют течение многих химических реакций, íо делают это избирательно. У каждого из них своя узкая «специальность», один и тот же процесс ускоряется иногда несколькими ферментами. В этом мы сейчас и убедимся.

Рассмотрим ферменты, разрушающие крахмал с присоединением к его «осколкам» молекул воды, т.е. гидролитические ферменты. Среди них—амилазы, о которых мы уже рассказывали в главе «Опыты с углеводами». Поскольку суть действия таких ферментов вы уже знаете, займемся сразу сравнительными опытами: проверим, как действуют на крахмал амилазы человека и животных.

Источником амилазы человека, как и раньше, будет служить слюна. Амилазы животного происхождения вы найдете в пчелином меде.

Приготовьте сначала пять растворов. Первый раствор: соберите в пробирку около 0,5 мл слюны и разбавьте холодной кипяченой водой в двадцать раз. Второй раствор: очень жидкий крахмальный клейстер (четверть чайной ложки крахмала на стакан воды). Третий раствор: разбавленная водой в двадцать раз аптечная иодная настойка. Четвертый раствор: две-три капли пчелиного меда, разведенные водой в десять раз и тщательно перемешанные. Пятый раствор: половина чайной ложки пищевой соды на десять ложек воды,

На этот раз потребуется девять пробирок. Во все пробирки налейте около 5 мл клейстера. В пробирки 1, 4 и 7 прибавьте пипеткой по 5 капель уксуса, а в пробирки 2, 5 и 8—столько же раствора соды. В остальные пробирки прибавьте по 5 капель чистой воды. Содержимое всех пробирок перемешайте и в каждую внесите по 10 капель разбавленной слюны.

Через 10 мин в пробирки 1, 2 и 3 прибавьте одну-две капли раствора иода и перемешайте смесь. Наблюдайте за изменением окраски. Еще через 15 мин прибавьте такую же порцию иода в пробирки 4, 5 и 6, а еще через 10 мин—в остальные пробирки. Крахмал и декстрины, как вы помните, дают различную окраску с подом, и по мере разрушения крахмала амилазой цвет меняется. Так можно судить не только о распаде крахмала, но и о том, какая среда—кислая, нейтральная или щелочная— более благоприятна для этого

процесса.

Опыт с пчелиным медом ставится точно так же. Активность амилаз в разных образцах может сильно колебаться, поэтому, возможно, время гидролиза придется уменьшить или увеличить. Например, в слюне заядлых курильщиков амилазы содержится очень мало.

Для следующего опыта понадобится ячменный солод — проросшие зерна ячменя. Опустите зерна в воду на несколько часов и оставьте их прорастать на блюдце в течение 4—5 дней, каждый день подливая немного воды. Проростки отделите, промойте водой è тщательно разотрите деревянным пестиком или ложкой. Кашицу разбавьте двойным количеством дистиллированной воды и отожмите через плотную ткань в стакан. Такой экстракт содержит два фермента: альфа-амилазу и бета-амилазу. Дополнительной обработкой можно разрушить один из них, чтобы наблюдать действие другого. Альфа-амилазу разрушим нагреванием. К одной части экстракта из ячменя добавьте три части воды, размешайте смесь и нагревайте ее 20 мин на водяной бане при 70 0С, тщательно перемешивая. Охлажденный раствор содержит бета-амилазу.

Теперь, чтобы получить раствор альфа-амилазы, нужно разрушить бета-амилазу кислотой. Около 5 мл экстракта охладите до 2—3 °С в холодильнике или на льду, прибавьте неполную чайную ложку охлажденного уксуса и долейте в пробирку почти доверху холодную воду. Смесь перемешайте и оставьте на 15—20 мин, а затем нейтрализуйте раствор, добавляя порошок мела до прекращения выделения пузырьков. Еще раз размешайте смесь, разбавьте в два раза водой, дайте отстояться и слейте жидкость над осадком в чистую пробирку. На этом подготовка к опыту закончена.

В десять пробирок налейте по 1 мл раствора крахмала и по 9 мл воды. В пробирки 1—5 добавьте пипеткой десять капель раствора альфа-амилазы, в остальные пробирки—столько же раствора бета-амилазы, Содержимое всех пробирок перемешайте. Через 3 мин в пробирки 1 и 6 прибавьте одну каплю раствора иода и размешайте. То же проделайте с пробирками 2 и 7 через 5 мин, 3 и 8—через 10 мин, 4 и 9—через 20 мин, 5 и 10—через 30 мин.

Вы заметите, что в присутствии альфа-амилазы окраска быстро меняется: синяя—фиолетовая— розовая—желтая: при этом образуются декстрины— осколки молекул крахмала. Бета-амилаза действует иначе: она как бы «откусывает» кусочки от молекул крахмала, и поэтому окраска с иодом остается синей, но по мере распада крахмала ее яркость уменьшается.

Результаты этого опыта наглядно показывают разнообразие свойств даже у похожих ферментов. В живых организмах ферменты обычно действуют совместно. Происходящие при этом превращения намного сложнее тех сравнительно простых реакций, которые вы наблюдали в пробирках. Но познание простого — это первый шаг к познанию сложного.

И НЕ ТОЛЬКО АМИЛАЗА

Вы уже убедились в том, что слюна — превосходный объект для биохимического исследования, и притом, в отличие от большинства других объектов животного происхождения, постоянно доступный.

Помимо амилазы, в слюне есть и другие ферменты, помогающие переваривать пищу, расщепляя сложные природные вещества на более простые. Но выделять и изучать их гораздо труднее, чем амилазу. Поэтому последние наши биохимические опыты мы поставим с веществами иной природы.

Ополоснув рот водой, соберите около 1 мл слюны в пробирку или флакончик и разведите тройным количеством дистиллированной или кипяченой воды. Отлейте половину содержимого в другую пробирку и капните примерно десять капель раствора ляписа—нитрата серебра $AgNO_3$ (можно растворить в 1 мл воды половину ляписного карандаша из аптеки; примеси не помешают опыту). К белому осадку, выпавшему в пробирке, добавьте уксус, и осадок частично растворится. Так при взаимодействии с нитратом серебра ведут себя соли соляной (хлороводородной) и фосфорной кислот — хлориды и фосфаты.

Вторую часть раствора слюны слегка подкислите слабым раствором соляной кислоты и добавьте несколько капель 3 %-ного раствора хлорида железа $FeCl_3$. Красно-бурая окраска

свидетельствует о том, что в растворе есть роданиды — соли роданистоводородной кислоты. В то время как в слюне у курильщиков мало амилазы, роданидов, напротив, больше обычного. Это можно проверить экспериментально, если у вас есть курящие родственники.

Следующий опыт потребует примерно 5 мл слюны. Поместите ее в стакан и при перемешивании стеклянной палочкой добавьте несколько капель уксусной кислоты (не разбавленного уксуса, а эссенции). На палочку будет налипать белый комочек, похожий на сваренный яичный белок. Это вещество — муцин, он увеличивает вязкость слюны, загущает ее и способствует образованию пены.

Попробуем самостоятельно разобраться в составе муцина. Часть полученного вещества поместите в маленькую пробирку, капните немного, буквально 2— 3 капли азотной кислоты и дождитесь, пока муцин пожелтеет. Теперь капните столько же концентрированного раствора щелочи (можно взять раствор аммиака) — и цвет станет оранжевым. Такая реакция называется ксантопротеиновой, она характерца для белков. Вместо нее можно провести биуретовую реакцию, описанную в главе «Опыты с белком»,— и в том и в другом случае подтвердится белковая природа вещества.

Но это еще не все. Остальной муцин, выделенный из слюны, подвергните пробе на углеводы. Для этого воспользуйтесь цветной реакцией Молиша, описанной в главе «Опыты с углеводами», или, если у вас есть немного L-нафтола, то ее упрощенной модификацией: к раствору муцина в слабой, примерно 1 %-ной соляной кислоте добавьте три-четыре капли 0,1 %-ного раствора нафтола в спирте и после размешивания очень аккуратно капните на поверхность концентрированной серной кислоты. Фиолетовое кольцо будет свидетельствовать о том, что вы взяли для анализа углевод.

Выходит, что муцин — и белок, и углевод одновременно? Именно так. Он из класса глюкопротеинов, т. е. соединений, содержащих и белковую, и углеводную часть. Если разлагать его сильными кислотами, то образуются аминокислоты, из которых состоят белки, и одновременно — углеводы.

ХРОМАТОГРАФИЯ НА ДОМУ

Для разделения всевозможных смесей, для анализа и выделения из смесей отдельных веществ в лабораториях очень часто пользуются хроматографией: это один из лучших методов разделения и анализа смесей. Хроматографию применяют и в промышленности, когда надо очистить и разделить похожие вещества — органические и неорганические, от лантаноидов до аминокислот. Суть ее в том, что отдельные компоненты смеси (жидкости или газа) по-разному удерживаются веществом-адсорбентом, способным избирательно поглощать те или иные химические соединения.

Современные газовые и жидкостные хроматографы — сложные приборы с автоматическим управлением, нередко—с микро-ЭВМ, которая планирует ход исследования и выдает готовые результаты. Конечно, такое недоступно ни для домашней лаборатории, ни для кружка. Однако начинался этот способ анализа с простых приемов, которые доступны и начинающему химику.

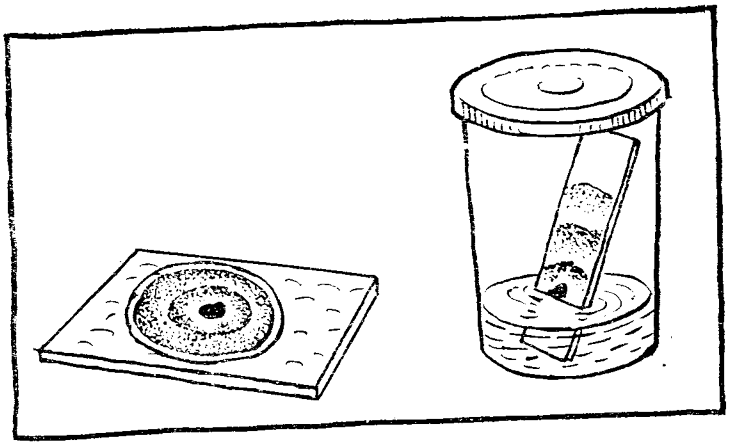
Начнем с бумажной хроматографии. Химики-аналитики пользуются специальной хроматографической бумагой, но для наших опытов подойдет обычная фильтровальная бумага, а то и промокашка. Возьмите квадратный листок бумаги и в середину капните исследуемый раствор, содержащий смесь окрашенных веществ. Это может быть спиртовая настойка какого-либо лекарства, например валерианы или календулы. или приготовленный вами экстракт хлорофилла (см. главу «Экстракция»), или смесь красителей, составленная специально для этого опыта. На бумаге образуется пятно. В центр его капните несколько капель растворителя: в приведенных выше примерах растворителем должен служить спирт, причем одеколоном его заменить нельзя—в нем содержатся вещества, которые могут исказить ход опыта. Вместо этилового спирта можно взять изопропиловый — под названием ИПС его продают в хозяйственных магазинах как средство для мытья окон.

Итак, вы капнули несколько капель растворителя, и он, словно по фитилю, продвигаясь между бумажных волокон, разносит окрашенные вещества от пятна во все

стороны. В зависимости от природы вещества и его молекулярной массы опыт идет быстрее или медленнее, но рано или поздно на листе оказывается несколько колец разного цвета. Сколько именно колец — зависит от того, сколько веществ было в анализируемой смеси.

В опыте с хлорофиллом таких колец будет два: желтое и серое.

Вы можете придумать множество вариантов этого опыта, используя разные смеси и подходящие растворители. А еще более точные результаты можно получить, если вместо бумаги использовать тонкий слой сорбента, нанесенный, например на стекло. Такой вариант метода называют тонкослойной хроматографией, а веществом-сорбентом в простейшем случае может служить крахмал.



Разболтайте крахмал в небольшом количестве спирта (вновь можно взять изопропиловый спирт), вылейте смесь на стекло и дайте растворителю испариться. Когда пластинка станет сухой, в ее центр, как и на бумагу, капните одну каплю исследуемой смеси; разумеется, она должна быть окрашенной, иначе разделение трудно будет заметить. Объект для эксперимента подберите сами. Помимо того, что было уже названо, годятся окрашенные соки, чернила, гуашевые краски и многое иное.

Дайте пятну подсохнуть и капните одну-две капли растворителя. Если расплываюшееся пятно оставит на сорбенте-крахмале не одно, а два или несколько цветных колец, это будет свидетельствовать о том, что вы имели дело не с индивидуальным веществом, а со смесью.

Вариант опыта с тонкослойной хроматографией: пластинку с исследуемым веществом ставят наклонно в стакан, на дно которого налито совсем немного растворителя— так. чтобы он смачивал немного крахмал. Растворитель (спирт) будет подыматься по крахмалу, дойдет до капли смеси, продвинется еще выше, а смесь при этом разделится на компоненты: они по-разному удерживаются адсорбентом—крахмалом.

Не менее распространена в лаборатории колоночная хроматография, при которой смеси разделяют на колонках, заполненных сорбентом. Такой метод, пожалуй, еще точнее, но он требует терпения, поскольку раствор в колонке движется медленно.

Хроматографической колонкой вам будет служить стеклянная трубка диаметром около 1 см и длиной примерно 20 см. Закройте ватой ее нижний конец и всыпьте крахмал или сахарную пудру чуть больше, чем наполовину. Сверху влейте в трубку раствор исследуемого вещества, желательно не слишком высокой концентрации. Когда раствор пропитает крахмал или пудру в колонке примерно на половину его высоты, влейте 3—4 мл чистого растворителя. Смесь разгонится по высоте колонки, станут отчетливо видны окрашенные кольца. Их будет столько, сколько веществ входит в состав изучаемой смеси. Этот опыт хорошо удается, в частности, с экстрактом хлорофилла, если в качестве растворителя взят чистый бензин (не автомобильный, а бензин-растворитель).

ЛУЧ УПАЛ НА КРИСТАЛЛ...

Займемся тем, что приготовим полупроводник. Один раз вам это уже удалось — когда вы превратили алюминиевую ложку в выпрямитель тока. Теперь опыт не менее интересный, и с теоретическими пояснениями. Ставить его лучше в химическом кружке или в школьной лаборатории, И не потому, что опыт опасный: просто дома у вас скорее всего нет требуемых веществ.

Сначала — предварительный опыт. Приготовьте раствор нитрата или ацетата свинца и пропустите через него сероводород (работайте под тягой!). Выпавший осадок сульфида

свинца PbS высушите и проверьте, как он проводит электричество. Оказывается, это самый обычный изолятор. Так причем же здесь полупроводники?

Не будем спешить с выводами, а поставим следующий, основной опыт. Для него придется приготовить равные количества, скажем, по 15 мл, 3%-ного раствора тиокарбамида $NH_2C(S)NH_2$ и 6 %-ного раствора ацетата свинца. Вылейте оба раствора в небольшой стакан. С помощью пинцета внесите в раствор стеклянную пластинку и держите ее вертикально (либо закрепите в таком положении). Надев резиновые перчатки, налейте в стакан почти доверху концентрированный раствор щелочи (осторожно!) и очень аккуратно размешайте стеклянной палочкой, стараясь не задевать ею пластинку. Слегка подогрейте раствор — так, чтобы появился пар; помешивание продолжайте. Минут через десять стеклянную пластинку аккуратно выньте, вымойте под струей воды и высушите.

И в этом случае вы получили сульфид свинца — так в чем же разница?

Во втором опыте реакция идет медленно, и осадок выпадает не сразу. Если вы наблюдали за раствором, то заметили, что сначала он помутнел и стал почти как молоко, и лишь потом потемнел,— это промежуточные соединения, разлагаясь, образовали черный сульфид свинца. И он оседает на стекле в виде тонкой черной пленки, которая состоит из очень маленьких, различимых только под микроскопом кристаллов. Поэтому пленка кажется очень гладкой, почти зеркальной.

Присоедините к пленке два электрических контакта и пропустите ток. Если сульфид свинца из предыдущего опыта вел себя как диэлектрик, то теперь он проводит ток! Включите в цепь амперметр, измерьте ток и подсчитайте сопротивление: оно окажется выше, чем у металлов, но не столь уж большим, чтобы служить препятствием для прохождения тока.

Поднесите к пластинке зажженную лампу совсем близко и снова включите ток. Вы сразу обнаружите, что сопротивление сульфида свинца резко упало. Примерно так же будет вести себя черная пленка, если ее просто нагреть. Но если при освещении и нагревании проводимость увеличивается, значит, мы имеем дело с полупроводником!

Отчего же у сульфида свинца такое свойство? Мы записали его формулу как PbS, однако истинный состав кристаллов этого вещества не вполне ей соответствует. Некоторые соединения, среди которых и сульфид свинца, не подчиняются закону постоянства состава. И все они — полупроводники. (Это же, между прочим, относится и к оксиду алюминия, выпрямлявшему переменный ток.)

В кристалле PbS порядок расположения частиц должен, казалось бы, строго повторяться. Но нередко благодаря тому, что концентрации растворов, из которых кристаллы получены, колеблются, порядок нарушается. Сказывается влияние температуры, других внешних причин. Как бы то ни было, в реальном кристалле соотношение атомов серы и свинца не точно 1:1. Отклонения от этого отношения очень невелики, всего около 0,0005. Но и этого достаточно, чтобы свойства существенно изменились.

Атомы свинца и серы связаны в кристалле двумя электронами: свинец отдает их сере. Ну а когда соотношение 1:1 нарушается? Если рядом с атомом свинца нет атома серы, электроны окажутся свободными—они-то и будут служить носителями тока. А таких случаев совсем не так мало, как может показаться. Конечно, отношение 1,0005:1 почти равно единице, но если вспомнить, как много атомов в кристалле, то эта незначительная разница уже не покажется вам такой пустячной.

Состав сульфида свинца можно регулировать. Нужно это затем, чтобы изменять его проводимость. Когда атомов серы в кристалле становится больше, то проводимость падает, а когда их меньше, то образуется больше свободных электронов, и проводимость растет. Словом, меняя соотношение атомов серы и свинца, можно получить требуемую проводимость. Опыт этот поставить непросто; если вы не рискнете проводить эксперимент, поверьте на слово, что он получается.

Возьмите кварцевую трубку и поместите в неб лодочку с сульфидом свинца. С другой стороны введите в трубку такую же лодочку со свинцом и очень сильно нагрейте трубку,

чтобы свинец начал испаряться. Сульфид в этом случае будет поглощать пары, он обогатится свинцом, н его электропроводность значительно повысится.

Осталось лишь ответить на вопрос, отчего сульфид свинца так чувствителен к освещению. Световые кванты сообщают энергию электронам, причем в каждом конкретном случае наиболее эффективны лучи с определенной длиной волны. Для сульфида свинца — это инфракрасное тепловое излучение. Поэтому-то мы и советовали вам поднести лампу поближе к пленке.

Между прочим, в приемниках инфракрасного излучения и используют обычно прекрасный полупроводник— сульфид свинца.

НЕОБЫЧНАЯ ФОТОГРАФИЯ

В основе фотографического процесса лежат пре< вращения светочувствительных веществ — галогенидов серебра, чаще всего бромида. Находясь в светочувствительной эмульсии, они распадаются под действием света, и на освещенных участках появляются крохотные кристаллические зародыши серебра.

А серебро — драгоценный металл, нужный не только для фотографии. И поэтому исследователи ищут такие светочувствительные вещества и системы, которые не содержали бы серебра. На этом пути есть и удачные находки, но полноценного заменителя пока не найдено. Впрочем, для некоторых целей фотографию без серебра или почти без серебра успешно используют. И такие необычные процессы можно воспроизвести самостоятельно. Вот несколько примеров.

В 100 мл дистиллированной воды растворите 15г глюкозы и 2 г бихромата аммония. Чистую тонкую белую ткань пропитайте приготовленным раствором и высушите ее, но обязательно в темноте, потому что она стала светочувствительной, и в темноте же прогладьте утюгом. Заранее приготовьте проявляющий раствор. Он состоит из 1 г нитрата серебра (обойтись вовсе без солей серебра не удается) и 10 мл уксусной кислоты на 100 мл воды.

Сделайте на кальке рисунок—то изображение, которое вы хотели бы перенести на ткань. Положите кальку поверх ткани и вынесите на дневной свет. Не торопитесь; чтобы фотохимический процесс завершился, понадобится около пяти минут, а при электрическом освещении и того больше. Для проявления опустите ткань в проявляющий раствор. Полная темнота уже необязательна, допустимо слабое рассеянное освещение.

Высушите проявленную ткань; на ней темно-коричневый рисунок.

В этом опыте вы воспользовались восстановительными свойствами глюкозы — она восстанавливала хром в бихромате аммония. А тот бихромат, который не восстановился, вступил в реакцию с ионами серебра из проявителя, образовал окрашенное соединение, которое и осталось на ткани, так как оно нерастворимо. И поскольку окраска появилась на неосвещенных участках, вы получили сразу позитивное изображение.

Другой вариант этого способа, тоже с бихроматом аммония, но уже без глюкозы и, что важнее, без серебра даже в проявителе. Приготовьте эмульсию, состоящую из двух растворов. Первый раствор: 17 г столярного клея и 6 г желатины залейте 100 мл воды, добавьте 3 мл водного раствора аммиака и оставьте для набухания на сутки, а затем нагревайте около часа на водяной бане при 80 0С до полного растворения. Второй раствор: по 2,5 г бихромата аммония и хромокалиевых квасцов, 3 мл водного раствора аммиака, 30 мл воды и 6 мл спирта. Когда первый раствор остынет примерно до 50°С, при энергичном перемешивании влейте в него второй раствор и полученную эмульсию дважды профильтруйте (лучше—через вату). Поставьте ее в темное место, и следующую операцию — нанесение эмульсии на металлическую, стеклянную или керамическую пластинку — проводите в затемненном помещении.

Подогретую до 30— 40 °С эмульсию налейте тонкой струйкой на чистую пластинку, покачивав ее, чтобы выровнять слой. Минут десять-пятнадцать посушите пластинку, желательно при небольшом нагревании, и, как и в предыдущем опыте, положите на светочувствительный слой кальку с изображением. Прижмите ее стеклом, чтобы она

распрямилась, и осветите. Несколько минут на ярком солнце — то, что нужно, а если освещение искусственное, то включите на 10 мин несколько ламп общей мощностью около 2000 Вт, желательно с рефлекторами.

Проявлять надо сразу, иначе хромовые соли задубят желатину и там, где не надо. Проявитель — чуть теплая, не более 30°С, вода. Незадубленная желатина в ней растворится. А те участки, в которых под действием света белки желатины затвердели, останутся на поверхности.

Изображение получилось не очень четким. Чтобы исправить этот недостаток, опустите отпечаток в 1 %-ный раствор индикатора метилового фиолетового (можно взять разбавленные фиолетовые чернила). Промойте пластину в воде и приступайте к закреплению в растворе: 5 г бихромата аммония, 2 г хромокалиевых квасцов и 4 мл спирта на 100 мл воды; время—три-четыре минуты. Высушите фотографию на воздухе. Для дополнительного закрепления снимка можно нагреть его несколько минут в сушильном шкафу или в духовке.

Следующую бессеребряную фотографию сделаем более привычно — на бумаге. Правда, на фильтровальной; но все равно—этот опыт демонстрационный.

Кружок бумаги опустите в раствор, содержащий по 20 мл 5%-ных растворов красной кровяной соли $K_3[Fe(CN)_6]$, хлорида железа $FeCl_3$ и щавелевой кислоты H_2CO_4 (осторожно!). Пропитанную бумагу извлеките из раствора и высушите в темноте, затем положите кальку с рисунком и засветите солнечным светом. Лампы накаливания для этой цели не годятся, а вот ультрафиолетовая (кварцевая) лампа подойдет. Освещенные места станут темно-синими из-за образования уже знакомой вам турнбулевой сини. Проявления не нужно, а для закрепления промойте бумагу водой, чтобы смыть вещества, не вступившие в реакцию.

И последний опыт с бессеребряной фотографией. В одном стакане растворите в 100 мл воды по 0,4 г хлорида железа (III) и щавелевой кислоты, в другом—1,4 г хлорида меди в таком же количестве воды. Смешайте 10 мл первого и 0,6 мл второго раствора, пропитайте смесью фильтровальную бумагу и высушите ее в темноте. Заготовьте проявитель: 3,5 г медного купороса, 17 г сегнетовой соли (двойной натриево-калиевой соли винной кислоты), 5 г едкого натра (осторожно!) на 100 мл воды и смешайте с 25 мл 40 %-ного раствора формальдегида. Вновь засветите бумагу на солнечном свете или под ультрафиолетовой лампой через кальку с рисунком; в отличие от предыдущего опыта изображения сперва не видно. Оно появится после 15-минутной выдержки в проявителе и промывки в большом количестве воды.

Этот процесс несколько напоминает серебряную фотографию, поскольку в светочувствительном слое также образуются центры кристаллизации, но не серебра, а меди; однако медь осаждалась не из эмульсии, как в обычной фотографии, а из проявляющего раствора.

ВНИМАНИЕ, СКОРОСТЬ!

В химической науке есть особая область, которая изучает скорости и механизмы различных реакций,— химическая кинетика.

Хотя химическая теория может объяснить многое, предсказать теоретически скорость любой реакции пока нельзя. Ее изучают экспериментально, в лаборатории, и потом разрабатывают способы, как эту скорость изменить. Есть немало реакций, важных для промышленности, которые идут слишком медленно, нужно уметь их ускорять. Другие реакции, напротив, приходится тормозить, потому что они вредны.

Словом, химическая кинетика — экспериментальная наука. В справедливости ее законов можно убедиться, поставив несколько несложных опытов.

Для начала удостоверимся в том, что скорость одной и той же реакции действительно может изменяться, и довольно значительно. (Впрочем, это можно предположить на основании не химического, а жизненного опыта; к примеру, продукты на морозе портятся медленнее, чем на жаре, потому что при разных температурах одни и те же биохимические реакции идут с разными скоростями.)

Для проверки повторите опыт из главы «Химические часы», но изменяйте на этот раз

не концентрации веществ (это вам уже знакомо), а температуру. Если оба исходных раствора — сульфата натрия и йодата калия с серной кислотой — выливать в воду со льдом, то времени до появления синей окраски пройдет заметно больше, чем при использовании теплой воды. Заметьте только, что в очень горячей воде окраска не появляется вовсе, так как окрашенное соединение иода с крахмалом неустойчиво.

Итак, вы выяснили на опыте: чем выше концентрация и температура, тем быстрее идет реакция. Но некоторые реакции на первый взгляд кажутся исключением из правила. Вот пример.

Налейте в пробирку на высоту 1—2 см уксусной кислоты и бросьте в нее несколько кусочков цинка. Цинк надо предварительно очистить, погрузив его секунд на двадцать в раствор соляной кислоты и промыв водой,

Уксусная кислота слабая, и цинк растворяется в ней очень медленно — пузырьки водорода еле выделяются. Как ускорить реакцию? Нагреть раствор. Правильно. А нельзя ли иначе? Поступим так: понемногу станем добавлять в пробирку чистую воду, каждый раз хорошо перемешивая. Внимательно последите за пузырьками. Удивительное дело: кислота уже разбавлена вдвое, втрое, а реакция вместо того чтобы замедляться, идет все быстрее!

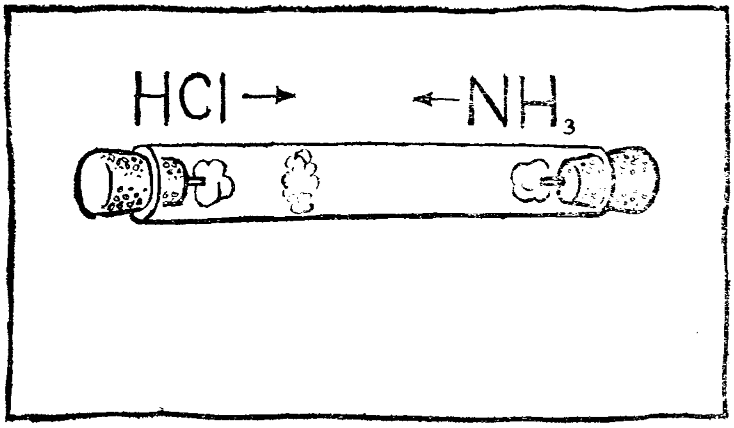
Если вы ставите этот опыт на занятиях кружка, то замените цинк маленьким кусочком магниевой стружки и ничем ее не обрабатывайте. С разбавленной уксусной кислотой магний реагирует еще энергичнее, чем цинк.

Такое «исключение» из правила становится понятным, если его хорошо изучить. Наш опыт с уксусной кислотой объясняется следующим образом. Скорость, с которой цинк или магний взаимодействуют с кислотой, зависит от концентрации ионов водорода в растворе. Эти ионы образуются при растворении в воде любой кислоты. Но когда воды мало, слабая уксусная кислота находится в растворе почти исключительно в виде недиссоциированных молекул. По мере разбавления водой все больше молекул уксусной кислоты распадается на ионы, и реакция идет быстрее. Но если добавить слишком много воды, то реакция вновь замедлится, уже по другой причине: из-за сильного разбавления концентрация ионов водорода опять уменьшится. Быстрее всего реагирует с цинком 15 %-ная уксусная кислота.

Конечно, мы разобрали этот опыт отнюдь не ради того, чтобы просто показать, какими необычными бывают химические превращения. Мы хотели обратить ваше внимание вот на что: для управления скоростью реакции обязательно надо знать, как она идет.

Всякая реакция начинается с того, что молекулы веществ сталкиваются друг с другом. Посмотрим, как начинается реакция.

Возьмите не очень широкую стеклянную трубку длиной в несколько десятков сантиметров и подберите к ней две пробки, С внутренней стороны, обращенной к трубке, вставьте в обе пробки по небольшому стеклянному стерженьку и намотайте на них по кусочку ваты. Один кусочек смочите несколькими каплями концентрированной соляной кислоты, другой — концентрированным раствором аммиака. Одновременно вставьте пробки с ватками в трубку с обеих концов. Через несколько минут — в зависимости от длины трубки—в ней, ближе к ватке с соляной кислотой, появится белое кольцо хлорида аммония NH_4Cl.



Обычно при химических реакциях смесь перемешивают, чтобы процесс шел быстрее. Мы умышленно этого не сделали и не пытались даже помочь молекулам встретиться—они двигались сами. Такое самостоятельное передвижение молекул в той пли иной среде называют диффузией.

Испаряясь с ваты, молекулы обоих веществ испытывали миллиарды столкновений в секунду с молекулами воздуха и друг с другом. И хотя скорость молекул очень велика, она исчисляется сотнями метров в секунду, при 0°С и нормальном давлении свободный пробег, т. е. расстояние, которое успевает пройти молекула от одного столкновения до другого, составляет для этих веществ всего около 0,0001 мм. Поэтому-то аммиак и хлористый водород (из соляной кислоты) так медленно двигались в трубке. Столь же медленно распространяется по комнате с неподвижным воздухом пахучее вещество.

Но отчего белое кольцо появилось не посередине трубки? Оттого, что молекулы аммиака меньше, они продвигаются через воздух быстрее. Если же из трубки откачать воздух, то молекулы аммиака и хлористого водорода встретятся через доли секунды — длина свободного пробега молекул значительно увеличится.

Советуем вам самостоятельно провести небольшое исследование, чтобы узнать, как влияют на диффузию силы тяжести и температура. Для этого располагайте трубку вертикально и наклонно, а также нагревайте отдельные ее части (включая то место, где оседает хлорид аммония). Выводы попробуйте сделать сами.

От газов перейдем к жидкостям. В них диффузия идет еще медленнее. Проверим это на опыте.

На гладкую и чистую стеклянную пластинку капните рядом по нескольку капель трех жидкостей: в середине — воды, по бокам от нее — растворов соды и соляной кислоты. Жидкости до начала опыта не должны соприкасаться. Затем очень осторожно, избегая перемешивания, палочкой соедините растворы. Должен выделяться диоксид углерода, но это произойдет не сразу. А когда газ начнет выделяться, то пузырьки его расположатся вдоль границы, разделяющей области диффузии кислоты и соды.

Вместо соды и кислоты можно взять два любых растворимых в воде вещества, которые при смешивании окрашиваются или дают осадок. Впрочем, в таких опытах трудно избежать потоков жидкости, искажающих картину, поэтому лучше ставить опыты в загущенных растворах. А загущать их можно желатиной.

Приготовьте 4 %-ный раствор желатины, опустив ее в горячую воду (не кипятить!). Горячий раствор налейте в пробирку и, когда он остынет, в центр пробирки быстро, одним движением, введите пинцетом кристаллик перманганата калия, медного купороса или другого ярко окрашенного и растворимого в воде вещества. Пинцет сразу же выньте осторожным, но быстрым движением. В течение нескольких часов можно наблюдать очень красивую картину диффузии. Растворяемое вещество распространяется во всех направлениях с одинаковой скоростью, образуя окрашенную сферу.

С загущенным раствором можно поставить еще один опыт. Налейте горячий желатиновый раствор в две пробирки и добавьте в одну немного раствора щелочи, а в другую — фенолфталеина. Когда содержимое пробирок застынет, пинцетом быстро введите в центр первой пробирки кусочек таблетки фенолфталеина, в центр второй — комок кальцинированной соды. В обоих случаях появится малиновая окраска. Но заметьте: во второй пробирке окраска распространяется гораздо быстрее. Ионы гидроксида, образовавшиеся при диссоциации щелочи, намного меньше и легче сложной органической молекулы фенолфталеина, и поэтому они движутся в растворе быстрее.

Перейдем теперь к твердым веществам. В реакциях между ними (или между твердым веществом с жидкостью либо газом) молекулы могут сталкиваться только на поверхности. Чем больше поверхность раздела, тем быстрее идет реакция. Убедимся в этом. Железо на воздухе не горит. Однако это справедливо только для железных предметов. Например, у гвоздей поверхность соприкосновения с воздухом невелика, реакция окисления идет слишком медленно. Железные опилки реагируют с кислородом намного быстрее: на холоду раньше превращаются в ржавчину, а в пламени могут и загореться. Мельчайшие же крупинки способны вспыхнуть вообще без нагревания. Такое железо называют пирофорным. Его невозможно настругать даже самым мелким напильником, так что получают его химическим путем, например, разлагая соль щавелевой кислоты—оксалат железа.

Смешайте водные растворы какой-либо соли двухвалентного железа, например железного купороса, и щавелевой кислоты или ее растворимой соли. Желтый осадок оксалата железа отфильтруйте и заполните им пробирку не более чем на пятую часть объема. Нагрейте вещество в пламени горелки, при этом держите пробирку горизонтально или чуть наклонно, отверстием вниз и в сторону от себя. Выделяющиеся капли воды снимайте жгутом фильтровальной бумаги или ватой. Когда оксалат разложится и превратится в черный порошок, закройте пробирку и охладите ее.

Понемногу и очень осторожно высыпайте содержимое пробирки на металлический или асбестовый лист: порошок будет вспыхивать яркими искрами. Особенно эффектен опыт в затемненном помещении.

Важное предупреждение: пирофорное железо нельзя хранить, это может привести к пожару! По окончании опыта порошок обязательно прокалите на воздухе или обработайте кислотой, чтобы не осталось несгоревших частиц — они могут самовоспламениться.

Далее исследуем, как влияет размер поверхности твердого вещества на скорость его реакции с жидкостью. Возьмите два одинаковых кусочка мела и один из них разотрите в порошок. Поместите оба образца в пробирки и залейте одинаковыми объемами соляной кислоты. Мелкораздробленный мел, как и следовало ожидать, растворится гораздо быстрее. Еще один кусочек мела поместите в пробирку с серной кислотой. Начавшаяся .было энергичная реакция вскоре затихает, а затем и вовсе прекращается. Отчего же? Ведь серная кислота не слабее соляной...

При реакции мела с соляной кислотой образуется хлорид кальция $CaCl_2$ который легко растворяется в воде и не мешает притоку к поверхности мела новых порций кислоты. При взаимодействии с серной кислотой получается сульфат кальция $CaSO_4$, а он очень плохо растворяется в воде, остается на поверхности мела и закрывает ее. Чтобы реакция пошла дальше, надо время от времени очищать поверхность мела или заранее превратить его в порошок. Знание таких подробностей процесса очень важно для химической технологии.

И еще один опыт. Смешайте в ступке два твердых вещества, дающих окрашенные продукты реакции: нитрат свинца и иодид калия, железный купорос и красную кровяную соль, и т. д.— и разотрите смесь пестиком. Постепенно, по мере растирания, смесь начнет окрашиваться, так как поверхность взаимодействия веществ все увеличивается. Если же налить на смесь немного воды, то сразу появится интенсивная окраска — ведь в растворе молекулы передвигаются значительно легче.

И в заключение опытов по кинетике поставим количественный эксперимент; единственный инструмент, который понадобится,— это секундомер или часы с секундной стрелкой.

Приготовьте 0,5 л 3%-ного раствора серной кислоты (лить кислоту в воду!) и столько же 12%-ного раствора тиосульфата натрия. Перед растворением тиосульфата добавьте в воду несколько капель нашатырного спирта.

На две цилиндрические склянки (стаканы, стопки) вместимостью 100 мл нанесите метки на уровне 50; 25; 12,5 и 37,5 мл, последовательно разделяя высоту пополам. Пометьте склянки и налейте в них до верхних меток (50 мл) приготовленные растворы.

Обычный тонкий стакан вместимостью 200 или 250 мл поставьте на темную бумагу и вылейте в него раствор тиосульфата, а затем — кислоты. Сразу заметьте время и перемешивайте смесь в течение одной-двух секунд. Чтобы не разбить стакан, лучше пользоваться деревянной палочкой. Как только раствор начнет мутнеть, запишите время, прошедшее с начала реакции. Опыт удобно проводить вдвоем: один следит за часами, другой сливает растворы и сигнализирует о помутнении.

Вымойте стакан и проведите опыт еще трижды; раствор тиосульфата наливайте в стакан до третьей (37,5), второй (25) и первой (12,5 мл) меток, доливая каждый раз воду до верхнего деления. Количество кислоты во всех опытах остается постоянным, и общий объем реагирующей смеси всегда равен 100 мл.

Теперь начертите график: как зависит скорость реакции от концентрации

тиосульфата. Концентрацию удобно выразить в произвольных единицах: 1, 2, 3 и 4. Отложите их на оси абсцисс. Но как подсчитать скорость реакции?

Точно это сделать нельзя хотя бы потому, что момент помутнения мы определяем на глаз, в известной мере субъективно. К тому же помутнение показывает только, что мельчайшие частицы серы, которые выделяются в ходе реакции, достигли такого размера, что их можно заметить. И все же, за неимением лучшего, примем начало помутнения за окончание реакции (что, кстати, не очень далеко от истины). Сделаем еще одно допущение: скорость реакции обратно пропорциональна ее продолжительности. Если реакция шла 10 секунд, то будем считать, что скорость равна 0,1. Отложите скорости на оси ординат.

Четыре опыта дали четыре точки, пятая — начало координат. Все пять точек расположатся примерно на одной прямой. Ее уравнение записывается так:

$v == k\,[Na_2S_2O_3]$

где v — это скорость реакции, квадратные скобки - принятое в химической кинетике обозначение концентрации, а k — константа скорости, которую легко найти из графика.

Но скорость реакции должна зависеть и от концентрации серной кислоты. Оставляя количество тиосульфата неизменным и разбавляя серную кислоту, проверьте, как изменяется скорость реакции. Как ни странно, она не меняется!

Такие случаи не редкость. В нашем опыте идет сложная реакция, и ее продукт—сера выделяется не сразу при непосредственных столкновениях молекул тиосульфата и кислоты. И вообще реакций, где продукты получаются сразу, не так уж много.

В сложных последовательных реакциях какая-то стадия протекает медленнее остальных. В нашем случае — последняя, в которой и образуется сера. Именно ее скорость мы, по сути дела, и измеряли.

ИСКУССТВЕННОЕ ВОЛОКНО

В последние десятилетия химические волокна буквально завоевали мир. И хотя по-прежнему сеют хлопок и лен, разводят овец и коз,—даже к традиционным натуральным волокнам добавляют искусственные и синтетические для придания прочности, нарядности, несминаемости и других полезных свойств. Наконец, для экономии натуральных волокон...

Приготовить самостоятельно самые распространенные ныне химические волокна — полиамидные (типа капрона) и полиэфирные (типа лавсана) будет, пожалуй, сложновато. Остановим свой выбор на медно-аммиачном волокне. Это одно из самых первых искусственных волокон, сырьем для него служит целлюлоза, например, из опилок и других отходов лесной промышленности. Медноаммиачное волокно применяют и сейчас — в ковроткачестве, на трикотажных фабриках, но гораздо реже, чем раньше, потому что появились более прочные и дешевые волокна. Однако для самостоятельного эксперимента удобнее объекта, пожалуй, не найти.

Искусственные волокна формуют из вязких прядильных растворов, продавливая их сквозь узкие отверстия — фильеры. При этом растворенная клетчатка выделяется в виде нитей. В нашем случае основу раствора составляет соединение меди с аммиаком, имеющее общую формулу $[Cu(NH_3)_n](OH)_2$. Чтобы приготовить такой раствор, прежде всего запаситесь основным карбонатом меди $Cu(OH)_2CO_3$. Если нет готовой соли, приготовьте ее простейшим способом — слейте водные растворы медного купороса и кальцинированной (стиральной) соды, профильтруйте осадок и высушите его.

В склянку с узким горлышком налейте 20 мл 25%-ного раствора аммиака (лучше делать это под тягой или на свежем воздухе) и добавьте 2 г основного карбоната меди. Закрыв склянку резиновой пробкой, взболтайте смесь, чтобы получилась темно-синяя однородная жидкость. Это медноаммиачный раствор. У него есть очень важное свойство: он способен растворять целлюлозу (клетчатку).

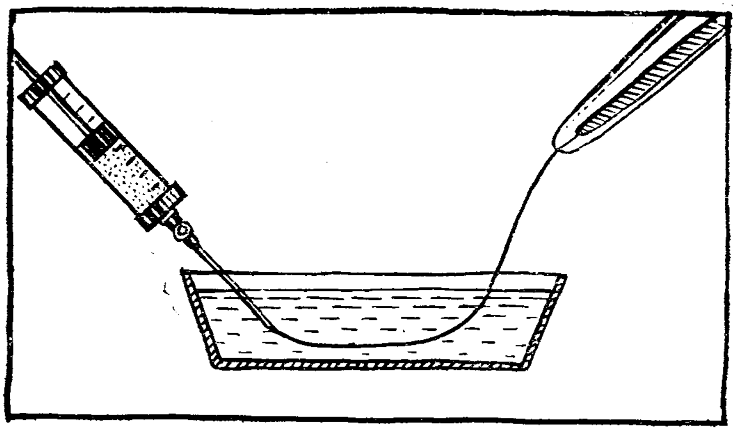
К двум небольшим склянкам подберите резиновые пробки и разлейте в эти склянки темно-синий раствор. В одну бросайте маленькими кусочками аптечную хлопчатобумажную вату; бросив очередную порцию ваты, закройте склянку пробкой и взболтайте содержимое. Во второй склянке точно так же, маленькими кусочками, растворите белую промокательную

или фильтровальную бумагу. И в том и в другом случае должны получиться вязкие растворы, по густоте напоминающие сироп. Из них можно выделить клетчатку, составляющую основу волокна. Чтобы удостовериться в этом, налейте в стакан разбавленный уксус и по каплям прибавляйте любой из прядильных растворов. Хлопья клетчатки выпадут в осадок.

Однако из хлопьев пряжу не приготовить. Как же получить из раствора нить? Так же, как на заводе — продавливая раствор через узкое отверстие, причем в раствор серной кислоты — в нем фиксируется форма нити.

Чтобы посмотреть, как это происходит, поставьте такой опыт: в стакан с 10%-ным раствором серной кислоты капайте из пипетки медноаммиачный раствор ваты или промокательной бумаги. Часть раствора будет опускаться на дно, оставляя за собой блестящую нить. Попробуйте ухватить эту нить пинцетом и осторожно вытянуть ее из стакана. Это и есть настоящее медноаммиачное волокно. Правда, нить получилась не очень ровной. Но это поправимо. Только ставить опыт надо вдвоем: один будет формовать нить, а другой извлекать ее из раствора.

Иглу от медицинского шприца вставьте по возможности плотнее в резиновую трубку с толстыми стенками. В трубку налейте прядильный раствор, закройте ее пробкой и погрузите иглу в ванночку или кювету с раствором серной кислоты. Ваш товарищ должен стоять с пинцетом наготове: вы будете сжимать постепенно трубку, а он подхватит пинцетом образовавшуюся нить и протянет ее через раствор, налитый в ванночку.

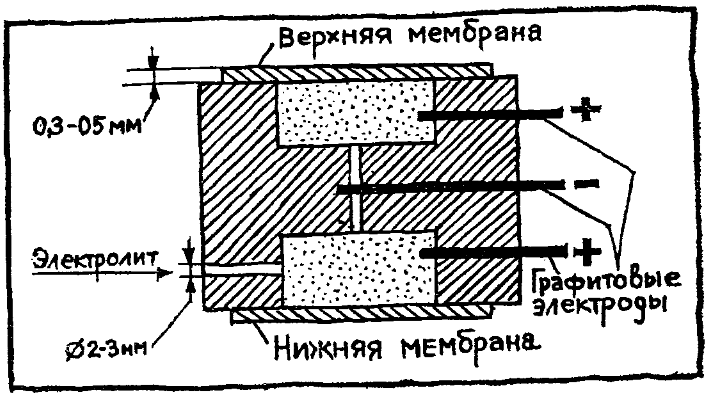


Такой опыт после небольшой тренировки обычно удается хорошо. Для удобства попробуйте наматывать полученную нить на катушку. Вместо резиновой трубки можно взять большой шприц или старый велосипедный насос.

И вискозное, и ацетатное волокно получают примерно так же, только берут другие растворители для клетчатки. Во всех случаях ее молекулы располагаются таким образом, что образуется ориентированная нить.

Из нити, вами полученной, не соткать, наверное, и платочка. Но мы к этому и не стремились. Этот раздел книги называется, как вы помните, «Своими глазами», а вы и впрямь увидели собственными глазами, как из невзрачной бумаги, растворенной в темно-синей жидкости, получилась красивая шелковая нить.

ХИМИЧЕСКИЙ СТОРОЖ



Вот и последний опыт в нашей книге. Он, наверное, несколько сложнее предыдущих, потому что для него придется самостоятельно изготовить небольшой прибор. Мы назвали его химическим сторожем, а более строгое его название — хемотронный датчик. Хемотроника — новая отрасль науки, она возникла на стыке электроники и химии. В отличие от электроники она изучает процессы в жидкости, где передвигаются ионы. Так как ионы намного тяжелее электронов, то

хемотронные процессы идут медленнее. Но далеко не всегда быстродействие — самое главное. Хемотронные устройства очень надежны, им уже сейчас находят много применений.

Разумеется, настоящие хемотронные приборы сложны. И все же вы можете сделать модель одного такого устройства — датчика. Прежде всего, любопытно посмотреть, как работают хемотроны. А вдобавок этот датчик наверняка сослужит вам добрую службу.

Сначала изготовьте цилиндрический корпус. Лучше всего было бы выточить его из оргстекла на токарном станке, но это не обязательно; корпус можно и склеить из отдельных пластинок оргстекла, в этом случае он будет прямоугольным. Примерный диаметр круглого корпуса—40 мм, а высота около 20 мм. С торцов цилиндра надо выточить две полости глубиной около 5 мм и диаметром 30 мм, так чтобы между ними осталась толстостенная перемычка. Непосредственно под перемычкой просверлите горизонтально отверстие диаметром 2—3 мм для заливки электролита и подберите к этому отверстию плотную пробку. Затем с противоположной стороны корпуса просверлите одно под другим еще три отверстия для электродов диаметром чуть больше миллиметра. Центральный электрод должен находиться в перемычке, верхний и нижний — в соответствующих полостях.

В качестве электродов возьмите толстые грифели для цанговых карандашей. Те места, где грифели выходят из корпуса, надо загерметизировать каким-либо клеем. Когда клей высохнет, в перемычке просверлите вертикально очень тонкое сквозное отверстие диаметром не более 0,5 мм. Выбирая для него место, имейте в виду, что это отверстие обязательно должно пройти через средний грифель-электрод.

Прибор уже почти готов. Осталось лишь приклеить к нему сверху и снизу по тонкой мембране из того æе оргстекла, только небольшой толщины (0,3— 0,5 мм). Пока приклейте только нижнюю мембрану.

Теперь об электролите. В половине стакана воды растворите 20—30 г иодида калия, а затем, слегка подогрев раствор, добавьте около 1 г йода. Через боковое, более широкое отверстие залейте этот электролит внутрь датчика, в нижнюю полость, следя за тем, чтобы не осталось воздушных пузырьков. Легче всего провести эту операцию медицинским шприцем. Когда заполнится и верхняя полость, приклейте вторую мембрану и окончательно загерметизируйте корпус, для чего вставьте во впускное отверстие заранее приготовленную пробку и тщательно залейте ее клеем.

Хемотронный датчик будет работать от батарейки для карманного фонарика. Верхний и нижний электроды, находящиеся в полости, соедините с положительным полюсом батарейки, средний—с отрицательным. В цепь желательно включить реостат, а также вольтметр и микроамперметр, которые, как вы уже знаете, можно заменить тестером.

С помощью реостата (или сопротивлений) установите напряжение примерно 0,8—0,9 В. Микроамперметр, включенный в цепь центрального электрода, покажет ток 200—300 мкА. Оставьте цепь замкнутой часов на десять-пятнадцать. Ток постепенно понизится до 10—20 мкА, что и требуется. Теперь датчик готов к работе.

Проверить, как он действует, проще всего так: подуйте на одну из мембран или коснитесь ее острием иголки. В то же мгновение стрелка микроамперметра резко отклонится вправо. Для глаза движение мембраны незаметно, но датчик на него сразу отреагировал.

Поясним, почему так происходит. Сила тока зависит от того, сколько иода находится возле отрицательного электрода—катода. Под действием постоянного тока под на катоде восстанавливается, принимая электроны, а на аноде он вновь образуется из ионов. Поэтому иод как бы постепенно перекачивается от катода к аноду. После зарядки датчика ток понемногу падает, потому что у отрицательного электрода остается все меньше иода. Но как только вы чуть-чуть, даже слабым прикосновением, сдвинули мембрану, к катоду поступает дополнительная, пусть и очень небольшая, порция молекул иода; датчик мгновенно на это реагирует: ток возрастает.

Такие хемотронные приборы на редкость чувствительны; тщательно изготовленные,

они могут иногда отреагировать буквально на считанные молекулы. Их чувствительность используют на практике — когда сигнал слаб и другими способами его трудно зарегистрировать. Подобные хемотронные устройства применяют, например, в медицинских исследованиях, в технике—для подсчета мелких деталей, движущихся на конвейере.

А нельзя ли как-нибудь использовать такой датчик дома или в школе? Конечно, можно. Почему бы не превратить его в прибор, который будет предупреждать вас о приходе гостя? Для этого датчик достаточно поставить в дверях квартиры, и он откликнется, как только гость дотронется до двери.

Но, понятно, один такой датчик, сам по себе, для этой цели не слишком удобен: надо все время смотреть на микроамперметр и ждать, пока отклонится его стрелка. Однако к датчику можно приспособить систему сигнализации — звонок или электрическую лампу. Как это сделать — придумайте сами или посоветуйтесь с учителем физики.

Между прочим, такой хемотронный «сторож» удается использовать для охраны важных объектов, например банков. Конечно, в этом случае датчик отнюдь не гостеприимен — он предупреждает об опасности.

Вот и все. Последняя страница дочитана, последний опыт поставлен.

Но, собственно, почему последний? Мы вовсе не рассчитывали дать вам исчерпывающее руководстве по доступным химическим экспериментам, и очень многое осталось за пределами этой книги. Существует так много химических опытов, что вряд ли их можно собрать в одной книге, даже гораздо большей, чем эта. И вы, несомненно, сумеете найти описания этих опытов в журналах, в популярных книгах, в учебниках, в пособиях по лабораторным работам. Конечно, если вам понравилось ставить химические экспернменты, на что мы от души надеемся.

А еще вы можете придумывать опыты самостоятельно. В начале книги мы вас от этого отговаривали, но тогда у вас не было навыков и практики; теперь же вы освоили многие технические приемы и познакомились с безопасными способами работы. Все предупреждения—о бесцельном сливании реактивов, о чрезмерно больших количествах реагирующих веществ и о прочих ошибках начинающих химиков — остаются в силе. И самое главное: надо четко представлять себе, как идет реакция, что и при каких условиях получается в результате. Для этого прежде всего надо познакомиться с теорией. По школьному ли учебнику, по более серьезному руководству, по журнальной статье. А еще лучше посоветоваться со знающим человеком — с учителем химии, с руководителем химического кружка, И только потом аккуратно и не торопясь ставить опыт.

Будем считать, что вся эта книга — не сборник наставлений для начинающих химиков, а предисловие к будущей самостоятельной работе. И если эти опыты хоть в какой-то мере помогут вам утвердиться в решении посвятить себя химии, то, значит, все, кто готовил эту книгу, старались не зря,